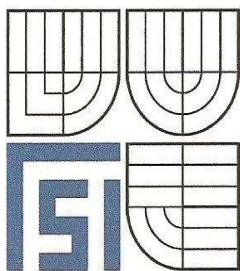


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA ZÁVĚSU DVEŘÍ OHÝBÁNÍM

PRODUCTION OF DOOR HOLDER BY BENDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. IVO KOŠTÁL

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. KAREL NOVOTNÝ, CSc.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Košťál Ivo, Ing.

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba závěsu dveří ohýbáním

v anglickém jazyce:

Production of door holder by bending

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh technologického způsobu výroby včetně návrhu možných variant řešení, vypracování technicko-ekonomického hodnocení navrženého způsobu

Cíle bakalářské práce:

- 1) Vypracování literární rešerše pro zadanou problematiku
- 2) Zhodnocení možných variant řešení
- 3) Navržení nového technologického postupu výroby
- 4) Vypracování technické zprávy a výkresové dokumentace
- 5) Vypracování technicko-ekonomického hodnocení navrženého postupu

ABSTRAKT

KOŠŤÁL Ivo: Výroba závěsu dveří ohýbáním.

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia oboru 2303R002 předkládá návrh technologie výroby součásti závěs dveří z ocelového plechu jakosti 11 373 pro výrobní sérii 50 000 ks/rok. Na základě literární studie je proveden rozbor možných technologických postupů výroby a navržena technologie výroby v 5ti operacích. Pro navržený technologický postup jsou provedeny technologické výpočty a výpočty střížných a ohýbacích sil a jsou určeny vhodné tvářecí stroje – výstředníkové lisy typu LEN (výrobce TOMA Trnava). Pro jednotlivé výrobní operace je navržena koncepce postupového stříhadla, ohybadla pro předohyb oka závěsu, proveden konstrukční návrh ohybadla pro ohyb oka závěsu a ideový návrh nástroje pro ohyb ramene závěsu.

Klíčová slova: Výroba, závěs dveří, ohýbání zakružováním, ohýbací nástroj

ABSTRACT

KOŠŤÁL Ivo: Production of door holder by bending.

The project elaborated in frame of bachelor studies branch 2303R002 is submitting design of Production technology of door holder made from sheet-metal quality 11 373. The batch is 50 000 pc. per year. On the basis of literature study was made possible production technology analyse. The result is 5-steps production technology. For technology project, which is concerned, were done technology calculations as well as calculations of shearing and bending pressures. The next there were determined possible forming machines eccentric presses LEN (producer TOMA Trnava). For each from production steps was designed progressive shearing die conception, bending die for pre-bending of hinge eye as well for final bending and ideological design of bending die for bending of side holder.

Keywords: Production, door holder, roll bending, bending die

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOŠŤÁL Ivo: Výroba závěsu dveří ohýbáním. Brno, 2009. 68 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Doc. Ing. Karel Novotný, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 25.5.2009



.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Doc. Ing. Karlu Novotnému, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	
	Str.
1. ÚVOD	8
2. POZNATKY Z PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ KOVŮ SE ZAMĚŘENÍM NA STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ	10
2.1. Stříhání a vystřihování	12
2.1.1. Střížná síla	18
2.1.2. Zásady technologičnosti při stříhání a vystřihování	19
2.1.3. Stříhadla	21
2.2. Ohýbání na lisech	24
2.2.1. Ohýbací síla a práce pro ohyb tvaru „V“ a „U“	28
2.2.2. Technologické problémy při ohýbání a způsoby jejich eliminace	31
2.2.3. Technologická doporučení z hlediska ohýbání	33
2.2.4. Ohybadla	35
2.2.5. Ohýbání zakružováním	36
3. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ	43
3.1. Technologičnost součásti závěs dveří z hlediska stříhání, ohýbání a ohýbání zakružováním	43
4. VÝROBA SOUČÁSTI ZÁVĚS DVEŘÍ TVÁŘENÍM	45
4.1. Posouzení technologických postupů výroby – rozbor	45
5. NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI ZÁVĚS DVEŘÍ	53
6. NÁSTROJE	58
6.1. Konstrukční návrh nástroje pro ohyb oka závěsu	59
6.2. Návrh nástroje pro ohyb ramene závěsu	60
7. NÁVRH STROJNÍHO ZAŘÍZENÍ	61
8. TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	64
9. ZÁVĚR	68
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam výkresů	

1. ÚVOD

Tváření je jednou z mnoha technologií užívaných při průmyslovém zpracování plechů, tyčí, trubek a profilů. Tváření kovů umožňuje malým počtem pracovních zdvihů vyrobit jednoduché i velmi složité součásti a rovněž zhotovit součásti nevyrobitelné jinými technologiemi – například výrobky z plechu nejdou zhotovit obráběním (nábojnice, hrnce). Výlisky efektivně nahrazují svařence a odlitky s úsporou materiálu 10-50% při snížení pracnosti až o 75%.

Technologie tváření dále umožňuje vyrábět velmi přesné součásti (např. přesným stříháním), zhotovovat lehké a tuhé konstrukce (aplikací lemů a výztuh) a zavádět hromadnou výrobu součástí při velmi příznivých ekonomických ukazatelích, tj. zavádět automatizaci, která výrazně zvýší produktivitu výroby při velkosériových výrobcích. Další významnou výhodou technologie tváření proti technologii obrábění je úspora materiálu (ohýbání, tažení - nedochází k tvorbě třísky). Použitím technologie tváření místo technologie obrábění při výrobě součástí, která připouští užití obou technologií, dostane tvářený materiál výhodnější uspořádání vláken a dále přetvářený materiál má vyšší mez kluzu a mez pevnosti než materiál obráběný. V porovnání s materiálem obráběným má tedy přetvářený materiál lepší mechanické vlastnosti.

Obecně lze tváření charakterizovat jako proces, jímž se dosahuje trvalé změny tvaru materiálu působením mechanické síly bez odběru třísek. Uskutečnit proces tváření umožňuje základní vlastnost kovů – jejich plasticita, tj. schopnost deformace. Schopnost deformace je možno popsat jako schopnost kovu přemísťovat atomy ve svém objemu za působení síly a tím vzniku napětí v materiálu, aniž by došlo k porušení celistvosti kovu. Hovoříme-li o tváření, pak tato deformace musí být trvalá, tj. plastická. Materiál, který snese takovou deformaci se nazývá tvářitelný (tvárný). Schopnost kovu být deformován (plasticita) a konkrétní tvářecí podmínky (teplota, síla, rychlost deformace, stav napjatosti) se označují pojmem tvařitelnost.

Odborná literatura uvádí i nevýhody technologie tváření. Mezi nevýhody této technologie lze zařadit poměrně vysokou cenu strojního zařízení - lisů, lisovacích nástrojů a odstranění někdy nežádoucího zpevnění, které se musí odstraňovat žíháním, což zvyšuje náklady na kus (např. pořízení žíhací pece).

Odborná literatura dále uvádí, že důležitými činiteli v otázce volby správného technologického postupu výroby výlisků jsou:

- druh tvářeného materiálu (jeho mechanické vlastnosti)
- rozměry a požadovaná přesnost výlisků
- dostupnost výrobních zařízení
- ceny lisovacího nářadí, resp. poměr ceny k počtu vyráběných kusů. Čím nižší bude hodnota tohoto poměru, tím většího ekonomického efektu dosáhneme při použití tváření.

Po prostudování odborné literatury zabývající se tvářením lze dospět například k tomuto rozdělení technologie tváření:

a) Rozdělení podle působení vnějších sil:

Tváření plošné: deformace tvářeného materiálu nastává ve směru dvou os souřadného systému; nemění se tloušťka tvářeného materiálu (mimo ohybových ploch). Patří sem ohýbání, stříhání, tažení.

Tváření objemové: deformace tvářeného materiálu nastává ve směru všech tří os souřadného systému; při použití této technologie dochází ke změně průřezu tvářeného materiálu. Charakteristickými technologiemi jsou protlačování a kování.

b) Rozdělení podle formy energie použité k překonání přetvárného odporu tvářeného materiálu:

Tváření tlakem: k překonání přetvárného odporu materiálu využívá tvářecí stroj potenciální energii – typickým představitelem takového tvářecího stroje je hydraulický lis.

Tváření rázem: k překonání přetvárného odporu materiálu využívá tvářecí stroj kinetickou energii – typickým představitelem tvářecího stroje je buchar.

c) Z hlediska dosažení teploty (bodu) rekrytalizace tvářeného materiálu hovoří literatura o:

Tváření za studena: tvářený materiál není ohříván nebo je ohříván na teplotu pod bod rekrytalizace.

Tváření za tepla: tvářený materiál je ohříván nad bod rekrytalizace.

Cílem této práce je navrhnout výrobu závěsu dveří ohýbáním, zpracovat konstrukčně ohýbací nástroj pro oko závěsu a navrhnout ohýbací nástroj pro ohyb ramene závěsu 90°. Výkres zadané součásti je na obr.1.

2. POZNATKY Z PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ KOVŮ SE ZAMĚŘENÍM NA STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ

Technologií plošného tváření se vyrábí výlisky od velmi malých rozměrů až po velkoplošné díly, vyznačující se nízkou hmotností a dostatečnou pevností a tuhostí. Základním výchozím materiálem jsou plechy (tabule nebo svitky), profily a trubky dodávané v tyčích.

Mezi technologie **plošného tváření** se řadí především:

- **stříhání,**
- **ohýbání**
- **tažení**
- **rotační tlačení**

Lisářské **operace stříhání** lze dále rozdělit na tyto základní metody:

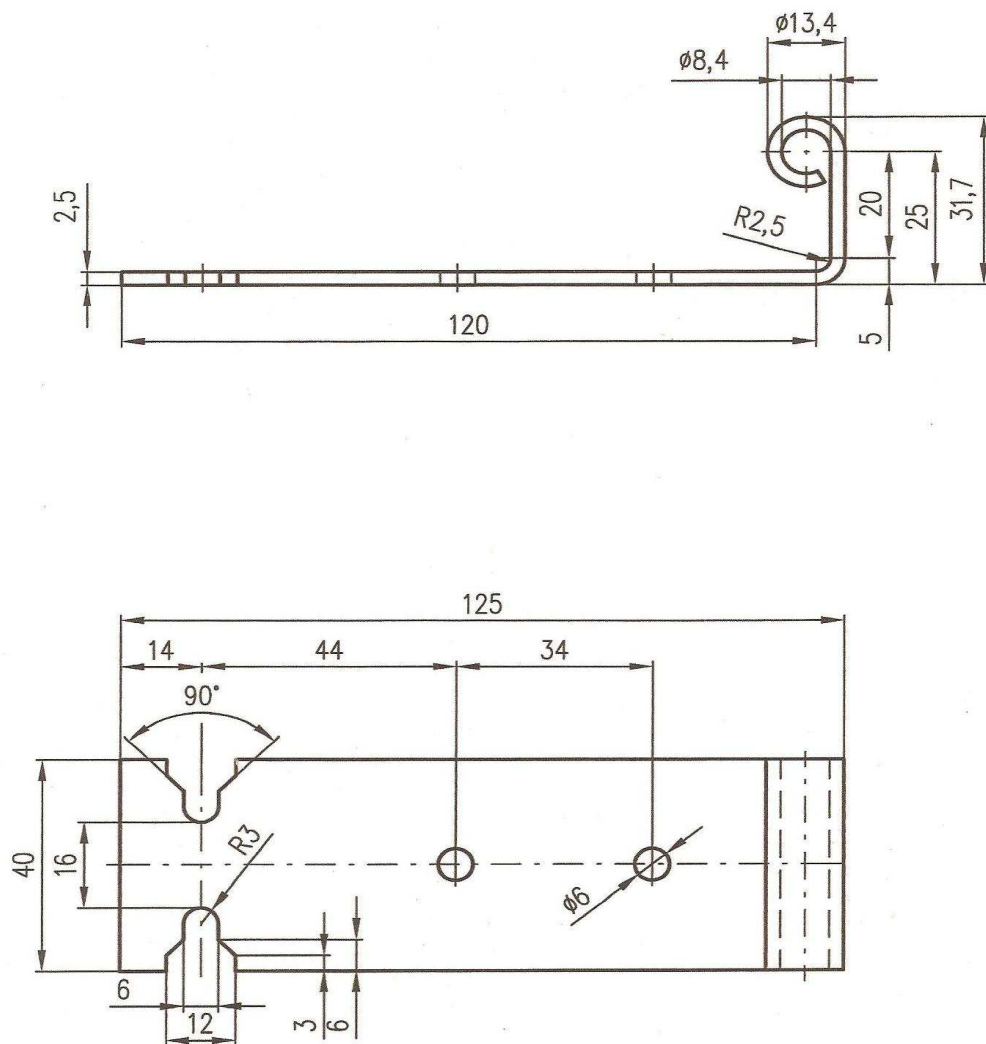
- **prosté stříhání**
- **děrování, vystřihování, ostřihování, přistřihování, nastřihování, prostřihování, protrhávání a vysekávání**
- **přesné stříhání (vystřihování)**

Prosté stříhání (bezodpadové dělení materiálu) jako základní technologická operace plošného tváření se provádí dle velikosti a tvaru stříhu v zásadě buď na tabulových nůžkách - podélné a příčné dělení tabulí plechu, na kotoučových nůžkách - podélné dělení svitků plechu, na křivkových nůžkách - křivkové tvary, nebo moderními technologiemi - laserem, plasmou či vodním paprskem - jak pro dělení tabulí plechu tak i pro vystřihování otvorů a nepravidelných tvarů.

Vystřihování je operace určená k výrobě přístřihů (polotovarů v rozvinutém tvaru) určených k dalšímu zpracování a výstřihů - tvarových obrysů součástí, kdy obrys výstřihu je tvarově shodný s obrysem střížníku a střížnice. Operace vystřihování se provádí zejména na lisech za použití lisovacích nástrojů - stříhadel, které v principu obsahují pohyblivý střížník zasouvající se do nepohyblivé střížnice.

Děrování kusových polotovarů se vesměs provádí na lisech - výstředníkových, klikových, s použitím nástrojů - děrovadel jež pracují na stejném principu jako stříhadla. Při děrování je výrobkem otvor ve výlisku nebo výstřižku. Děrování celých tabulí (s následným rozstřihováním) se provádí také na mechanických děrovacích lisech s více nástroji v revolverové hlavě nebo s jedním rychlovýměnným nástrojem.

Obr.1 Výkres zadané součásti



ROZVINUTÁ DÉLKA=171,5 mm

Struktura povrchu:		Hrany:		Měřítko 1:1	Přesnost ISO2768-mH
					Tolerování ISO8015
					Promítání 
Materiál 11 373.0		Polotovary P.2,5x40		Hmotnost kg	CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016
		Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES		Název ZÁVĚS	
		Kreslil IVO KOŠTÁL			
		Schválil		Číslo dokumentu	
		Datum vydání 7.5.2009			
List /					

Přesné stříhání je určeno k výrobě velmi přesných obrysů součástí nebo jejich tvarových prvků s využitím principu vytvoření trojosého stavu napjatosti v oblasti stříhu. Přesnost stříhu, resp. drsnost povrchu stříhaných ploch je srovnatelná s obráběním v rozsahu $R_a = 0,8\text{--}1,6 \mu\text{m}$.

Ohýbáním se obvykle dále zpracovávají polotovary vyrobené stříháním ve stříhadlech nebo na nůžkách.

Ohýbání plechu se provádí dle velikosti a tvaru ohybu buď v ohýbačkách plechů – volné ohýbání většinou velkorozměrových dílů, na ohraňovacích lisech – volné ohýbání i ohýbání s kalibrací pro složitější ohyby, jak pro velkorozměrné, tak i menší díly nebo na mechanických (výstředníkových či klikových) lisech v ohýbacích nástrojích – zejména pro menší díly, pro přesné i uzavřené ohyby.

Mezi **ohýbací operace** se řadí zejména:

- **volné ohýbání**, kde dle tvaru ohybu se v zásadě rozlišuje ohyb tvaru „U“ a ohyb tvaru „V“ a uzavřené ohyby.
- **ohýbání s kalibrací**, které odstraňuje důsledky odpružení patrné zjevně u volného ohýbání a zpřesňuje rádius ohybu.
- **ohraňování** slouží především pro ohýbání velkorozměrnějších součástí a vytváření profilů postupnou kombinací ohybu tvaru „V“ a „U“.
- **lemování** je ohyb okraje rovné plochy výlisku z důvodů jeho zpevnění, zaoblení ostrých hran nebo k získání patřičného vzhledu součásti.
- **rovnání** je proces střídavého ohýbání (zejména svitků nebo tabulí plechu) mezi soustavou rovináčů válců, kdy prvními válci je vytvořeno ohybové napětí nad mez kluzu materiálu a výstupními válci je vytvořeno jen pružné ohybové napětí.
- **zakružování** je volný ohyb, přetvárný proces je obdobný jako u ohýbání, kdy poloměr ohybu je poloměrem válcové či kuželové plochy. Klasické zakružování plechů se provádí na dvou, tří a čtyřválcových zakružovačkách volených dle tloušťky plechu, velikosti průměru zakroužení, požadované kuželovitosti výlisku a požadovaného předohybu konců výlisků.
- **ohýbání zakružováním** lze provádět i na lisech v zakružovacích nástrojích a to vždy s předohybem jednoho nebo obou konců plechu. Touto metodou lze vyrábět zejména oka závěsů.

2.1. Stříhání a vystřihování

Tabule plechu nebo svitky jako výchozí polotovary pro výrobu součástí bude nutné nejdříve nastříhat na pásy nebo přístřihy, ze kterých se pak vystřihnou výstřižky tvaru součástí v rozvinuté délce. Stříhání je tedy základní technologickou operací. Následnými technologickými operacemi např. ohýbáním, tažením popřípadě obrubováním dostanou výstřižky požadovaný tvar.

V ohnisku deformace je materiál při stříhání namáhán na mez pevnosti ve stříhu, dochází k porušení soudržnosti, tj. k ustřížení. Střížné – smykové napětí je vyvozeno relativním pohybem střížných břitů, kdy materiál se odděluje buď postupně – stříh šikmými noži nebo současně – stříh rovnoběžnými noži a to podél křivky stříhu dané geometrickým tvarem střížných břitů, který může být přímkový – přímé nože tabulových nůžek, tvarový – střížné a děrovací nástroje nebo kruhový – kotouče kruhových nůžek.

Z hlediska průběhu stříhu se stříhání na nůžkách a na lisech neliší.

Princip stříhání lze popsat následujícími fázemi – viz. obr.2:

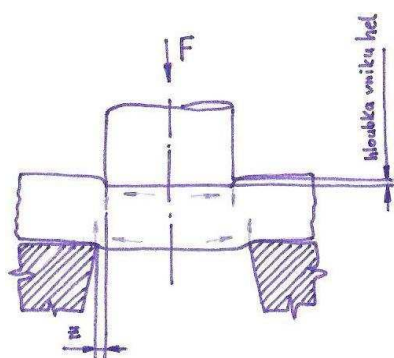
1. Po dosednutí nože tabulových nůžek nebo střížníku dochází k jeho pružnému vnikání do hloubky materiálu a způsobí jeho pružnou deformaci. Maximální hloubka vniku nože nebo střížníku do materiálu, ve které se projeví jen pružná deformace závisí na vlastnostech materiálu; v odborné literatuře lze nalézt hodnoty okolo 0,05 – 0,08 tloušťky materiálu.

2. Nůž tabulových nůžek nebo střížník stříhadla vniká hlouběji do materiálu, přičemž napětí σ je ve směru vnikání větší než je mez kluzu kovu σ_k a dochází tak k plastické deformaci; při dalším pronikání nože nebo střížníku do materiálu napětí σ postupně dále vzrůstá a přibližuje se k mezi pevnosti kovu ve stříhu (smyku) τ_{ps} . Maximální smyková napětí se nacházejí na kluzných plochách, které začínají u ostří nožů. Hloubku vniku nože nebo střížníku v této fázi uvádí odborná literatura v rozmezí 0,1 – 0,25 tloušťky materiálu.

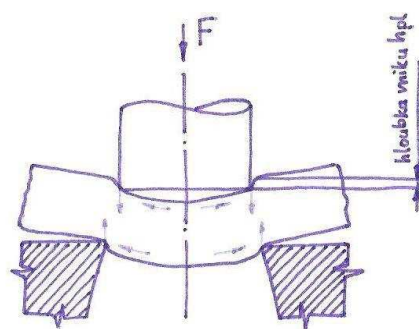
3. Působící napětí σ již dosahuje meze pevnosti ve stříhu τ_{ps} a vzniká nástřih, tj. trhlinky, které postupují ve směru největšího smykového napětí, tj. po kluzných plochách za podpory tahového napětí ve směru vláken. Tahové a smykové napětí svírá úhel přibližně 45°. Trhliny se rychle šíří od ostří protilehlých nožů (od střížníku a střížnice), až dojde k oddělení výstřížku. Trhliny (tj. stříh), které postupovaly ve směru největšího smykového napětí vytvořily charakteristický tvar podobný písmenu S. Na střížné ploše plechu lze rozeznat pásmo plastického přetvoření, pásmo lomu a pásmo otěru.

Rychlost vzniku a postupu trhlin je závislá na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu a na velikosti střížné vůle. Deformační pásma při stříhání s normální střížnou vůlí ukazuje obr.3. Hloubka oddělení materiálu je u křehkých a tvrdých materiálů relativně malá cca 0,1 tloušťky, u měkkých a houževnatých materiálů je větší - až 0,6 tloušťky materiálu. Při dalším pohybu protlačuje při prostřihování střížník vystřiženou součást skrze střížnici.

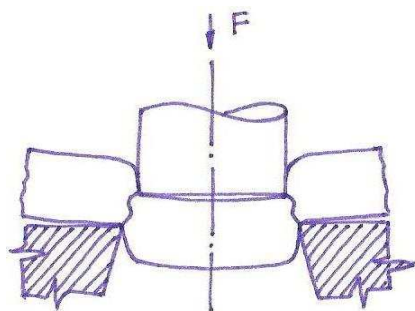
Obr.2 Fáze stříhu



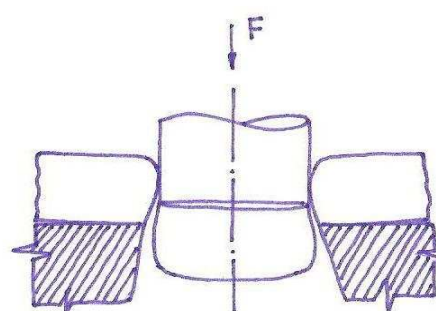
1. fáze: pružná deformace



2. fáze: plastická deformace

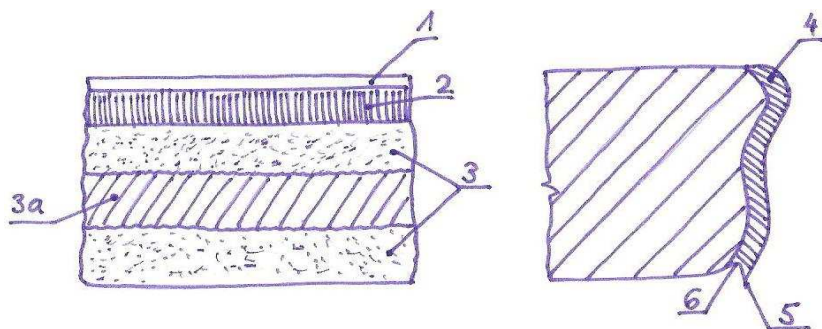


3. fáze: nástřih



- ustřižení

Obr.3 Deformační pásma - vzhled střížné plochy při stříhání s normální střížnou vůlí



- 1 – zeslabení
- 2 – plastické přetvoření
- 3 – pásmo lomu
- 3a – pásmo otěru
- 4 – oblast zpevnění
- 5 – otřep
- 6 – vtisk dolního břítu

Vlastnosti stříhu

Důsledkem uvedeného principu stříhání má stříhaný materiál tyto vlastnosti:

- drsnost stříhané plochy dle deformačních pásem je v oblasti plastického stříhu $R_a = 3,2-0,8$, v oblasti utržení je $R_a = 3,2-6,3$.
- střížná plocha je vlivem střížné vůle sešikmena a opotřebením břitů se zkosení zvětšuje. Úhel zkosení bývá 1° až 6° .
- střížné plochy vykazují otřep, jehož velikost závisí na střížné vůli, resp. na otupení nástrojů. Velikost otřepu se připouští do výšky asi 0,1 mm, větší otřepy se musí odstraňovat mechanicky.
- tloušťka plechu je podél střížné plochy zeslabena.
- v oblasti střížné plochy vzniká zpevnění materiálu do hloubky 0,2–0,3 jeho tloušťky.
- výstřížky vykazují odchylky v rozměrech způsobených opotřebením stříhadla, zešikmení střížné plochy (viz výše) a v malé míře i odpružení.
- některé výstřížky mohou být prohnuté ohybovým momentem obou složek střížné síly. Zkroucení a šavovitost se projevuje i při stříhání úzkých pruhů na tabulových nůžkách, zvláště je-li šířka ústřížku menší než desetinásobek jeho tloušťky.

Ovlivnění střížného procesu

Průběh střížného procesu je ovlivněn několika činiteli a jejich vzájemnými vztahy:

- a) konstrukcí střížných nožů – střížníků
- b) geometrií střížných břitů
- c) střížnou vůlí
- d) stříhaným materiálem, jeho pevností a tloušťkou

Ad a)

Klasický stříh realizovaný jak na tabulových nůžkách nebo ve stříhadle na lisu se podle konstrukce nožů dělí na:

- stříhání rovnoběžnými noži

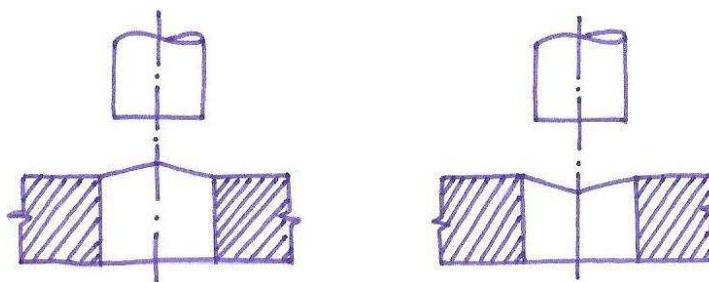
u tabulových nůžek není horní nůž veden do stříhu pod úhlem, ale ke stříhu dochází v jednom okamžiku po celé délce. Rovněž tak u stříhadel je rovina střížníku rovnoběžná s plochou stříhaného plechu.

- stříhání se šikmým nožem

u tabulových nůžek je horní nůž skloněn pod úhlem, u stříhadel je zkosen buď střížník nebo střížnice. Stříh probíhá postupně, břit nože resp. střížníku vniká do materiálu postupně, což v důsledku znamená menší střížnou sílu, malý silový ráz při prostřihnutí, je však potřeba větší zdvih a projeví se mírné ohnutí odstříhované části plechu.

U střížnic se používá zkosených břitů dle obr.4. Tento způsob je vhodný u vystřihování, neboť výlisek propadající střížnicí je rovný, odpad ohnutý.

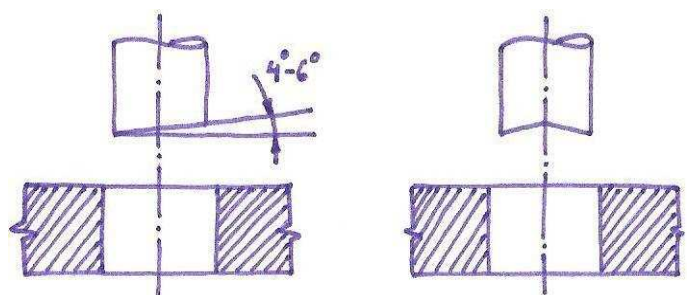
Obr.4 Zkosení střížnice



U střížníků se používá jednostranného zkosení nebo oboustranného zkosení, jak konkávního, tak konvexního. Úhel čela, resp. úhel zkosení střížníků bývá 4° – 6° . Při postupném záběru břitů se snižuje střížná síla, negativním důsledkem zkosení je deformace výstřižku. Je-li výstřižkem odpad, pak tato deformace nevádí. Proto se zkosení střížníků používá u děrování. Jednostranného zkosení se používá jen u nastřihování.

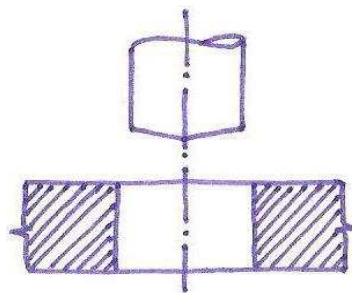
Zkosení střížníků je uvedeno na obr.5.

Obr.5 Zkosení střížníků



jednostranné

oboustranné konkávní

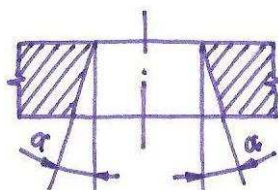


oboustranné konvexní

Ad b)

S ohledem na požadovanou přesnost výstřížku, vyráběné počty kusů, velikost a tvar výstřížků a využití pomocných ústrojí nástrojů (stěrače) se používají profily střížných břitů střížnice s hodnotami úhlů dle obr.6

Obr.6 Profil střížných břitů střížnice



$\alpha = 10' - 15'$ při $s = 0,1 - 0,5$ mm

$\alpha = 15' - 20'$ při $s = 0,5 - 1$ mm

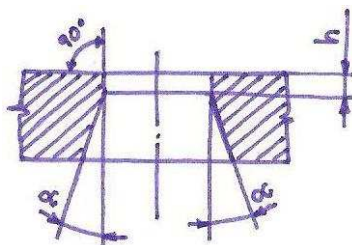
$\alpha = 20' - 30'$ při $s = 1 - 2$ mm

$\alpha = 30' - 45'$ při $s = 2 - 4$ mm

$\alpha = 40' - 1^\circ$ při $s > 4$ mm

použití: pro střední počty kusů,
vystřihování malých částí
střední přesnost

s – tloušťka stříhaného plechu



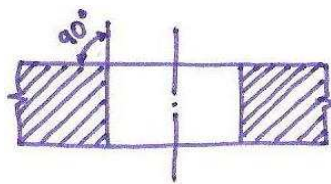
$h = 3 - 5$ mm při $s = 0,5$ mm

$h = 5 - 10$ mm při $s = 0,5 - 5$ mm

$h = 10 - 15$ mm při $s = 5 - 10$ mm

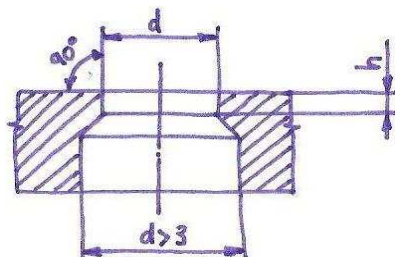
$\alpha = 3^\circ - 5^\circ$

použití: pro vysoké počty kusů



válcový tvar střižných
břitů střižnice

použití: ke stříhání při použití
vyhazovače nebo pro rozměrné tvary



válcově vybraný tvar

použití: k děrování ($d > 3$ mm)

$h = 3-5$ mm při $s = 0,5$ mm

$h = 5-10$ mm při $s = 0,5-5$ mm

$h = 10-15$ mm při $s = 5-10$ mm

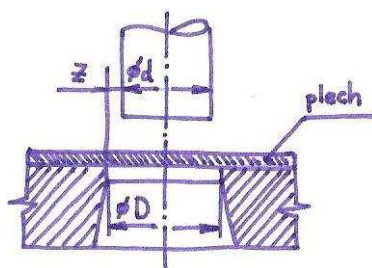
Ad c)

Střižná vůle je vzdálenost mezi břitem pevného a pohyblivého nože a má podstatný vliv na kvalitu střižné plochy, na přesnost výstřižku, na životnost nástrojů a na velikost síly a práce nutné pro stříh.

Je používán i pojem střižná mezera, což je $\frac{1}{2}$ střižné vůle viz. obr.7. K docílení kvalitní střižné plochy bez otřepů je důležitá optimální vůle mezi střižníkem a střižnicí, která bývá od 3 do 10% tloušťky plechu v závislosti na tloušťce a pevnosti materiálu. Při optimální vůli se setkají střižné plochy a smykové trhliny od břitů střižníku se střižnými plochami a trhlinami od střižnice a je vytvořena jedna střižná plocha bez otřepů a relativně rovná.

Při malé vůli nedochází k charakteristickému tvaru stříhu po křivce S, zvětšuje se pásmo lomu a zvyšuje se střižná síla. Při větší střižné vůli se zvětšuje deformace materiálu ohybem, zvětšuje se pásmo otěru a snižuje se střižná síla.

Obr.7 Střižná mezera



střižná mezera $z = (D - d)/2$

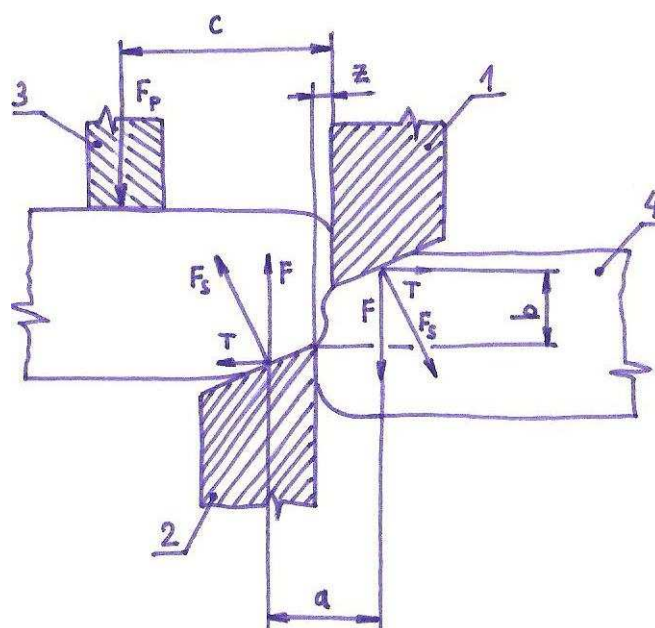
střižná vůle $v = 2 * z = D - d$

Velikost střížné mezery (poloviční vůle) se v praxi stanovuje v % tloušťky stříhaného materiálu podle vztahu $z = (0,03 \text{ až } 0,1)s$.

Velikosti střížných vůlí jsou pro různé tloušťky plechů a jejich různé meze pevnosti rovněž tabelizovány.

2.1.1. Střížná síla

Obr.8 Silové působení u stříhu s rovnoběžnými noži



- 1 – horní pohyblivý nůž
- 2 – dolní pevný nůž
- 3 – přidržovač
- 4 – stříhaný materiál

Velikost potřebných střížných sil pro nastříhání pásů, vystřížení výstřížků z pásu a pro děrování se stanoví výpočtem podle empirických vzorců nebo z nomogramů.

Stanovení střížné síly je jedním z činitelů ovlivňujících volbu nůžek a lisu. Střížná síla nůžek a lisu se volí s dostatečnou rezervou (zvýšení o 10–30%) vzhledem k vypočtené střížné síle F_s a to z důvodů, že prakticky nevzniká při stříhání čistý smyk, ale kombinované namáhání a střížné hrany se otupují.

Výpočet střížné síly pro stříhání plechu na tabulových nůžkách se skloněnými noži:

$$F_s = 0,5 * [s^2 / \text{tg} \varphi] * \tau_{ps} \quad [\text{N}] \quad (1)$$

kde:

F_s – střížná síla [N]

s – tloušťka materiálu [mm]

φ – úhel sklonu nožů [°]

$$\begin{aligned} \tau_{ps} & - \text{mez pevnosti ve stříhu [MPa]} \\ & \text{pro ocel platí empirický vzorec:} \\ \tau_{ps} & = 107,9 + 0,56 * R_m \text{ [MPa]} \quad (2) \\ R_m & - \text{mez pevnosti v tahu [MPa]} \end{aligned}$$

Výpočet střížné síly pro stříhání plechu stříhadly (s rovnoběžnými noži) na lisu:

$$F_c = F_s + F_{stír} \text{ [N]} \quad (3)$$

$$F_s = n * L * s * \tau_{ps} \text{ [N]} \quad (4)$$

$$F_{stír} = c * F_s \text{ [N]} \quad (5)$$

kde:

F_c – celková síla [N]

F_s – střížná síla [N]

$F_{stír}$ – stírací síla [N]

n – 1,0 až 1,3 je zvyšující koeficient zahrnující vliv vnějších podmínek při stříhání, tj. nerovnoměrnost tloušťky plechu, nerovnoměrnost napjatosti a především otupení střížných hran [-]

L – délka křivky stříhu [mm]

τ_{ps} – mez pevnosti ve stříhu [MPa]

pro ocel platí empirický vzorec: $\tau_{ps} = 107,9 + 0,56 * R_m$ [MPa]

R_m – mez pevnosti v tahu [MPa]

s – tloušťka plechu [mm]

c – koeficient; $c = 0,06-0,16$ [-]

2.1.2. Zásady technologičnosti při stříhání a vystřihování

Vysoká produktivita, nízké požadavky na kvalifikaci obsluhy lisů, úspora materiálu a přesnost výstřižků jsou charakteristické znaky metod stříhání plechů, zejména vystřihování a děrování na lisech. Avšak metodami stříhání nelze vystřihnout jakýkoliv výstřižek. Tvar výstřižku, jeho rozměry, rozměry a umístění případných otvorů ve výstřižku a přesnost otvorů jsou limitovány tloušťkou plechu a jeho mechanickými vlastnostmi.

Aby bylo možné výstřižek z pruhu plechu vůbec vystřihnout, popř. ho vystřihnout bez vad (např. bez zkroucení výstřižku, s nedeformovanými otvory blízko sebe), je nutno respektovat při návrhu tvaru výstřižku doporučení, která zohledňují závislost tvaru a rozměrů výstřižku na tloušťce plechu a jeho mechanických vlastnostech a rovněž znát nedokonalosti samotného střížného procesu.

V souvislosti s respektováním těchto doporučení při návrhu výstřižku hovoříme o technologičnosti výstřižku.

Doporučení pro technologičnost výstřižku:

- Nezuzovat tolerance rozměrů pod mez, které je možno dosáhnout při běžném stříhání.
- Pokud střížná plocha není funkční plochou součásti, nepředepisovat její drsnost ani kolmost k ploše plechu.

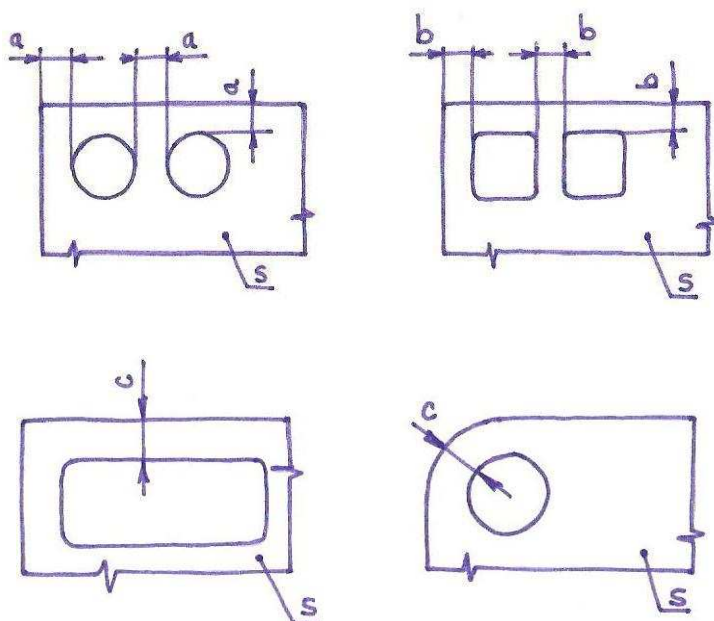
- c) Při stříhání na tabulových nůžkách dodržet poměr šířky ústřížku a tloušťky plechu alespoň 10:1, aby se výstřížek nezkroutil.
- d) Nejmenší velikost otvorů, viz. tab.1, které je možno běžným nástrojem vystříhnout (vyděrovat) závisí na tloušťce a druhu stříhaného materiálu. Přednostně se volí otvory kruhového průřezu.

Tab.1 Nejmenší velikost otvorů (s je tloušťka plechu)

Materiál	Obvyklé děrování		Děrování vedeným střížníkem a s přídržovačem	
	Průměr kruhového otvoru [mm]	Šířka obdélníkového otvoru [mm]	Průměr kruhového otvoru [mm]	Šířka obdélníkového otvoru [mm]
textgumoid	0,4s	0,35s	0,3s	0,25s
pertinax	0,4s	0,35s	0,3s	0,25s
hliník	0,8s	0,6s	0,3s	0,25s
měkká ocel	1s	0,8s	0,35s	0,3s
mosaz	1s	0,8s	0,35s	0,3s
tvrdá ocel	1,5s	1,2s	0,5s	0,4s

- e) Nejmenší vzdálenost mezi otvory nebo vzdálenost otvorů od kraje výstřížku volíme ve vztahu k tloušťce plechu – obr.9.

Obr.9 Nejmenší vzdálenosti mezi otvory a vzdálenosti otvorů od kraje výstřížku

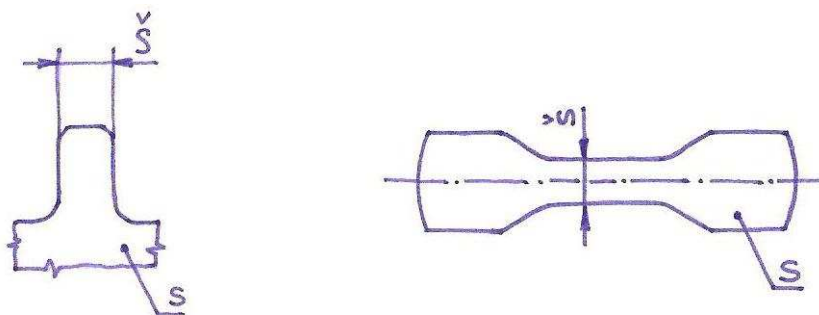


$$a > 0,8s, \quad b > s, \quad c > 1,5s,$$

Tyto vzdálenosti platí pro ocel o $R_m = 500 \text{ MPa}$ a tloušťku plechu do 1,5 mm. U silnějších materiálů se vzdálenosti zvyšují o 10–15% a u materiálů s nižší mezí pevnosti se tyto vzdálenosti zvyšují o 20–25%.

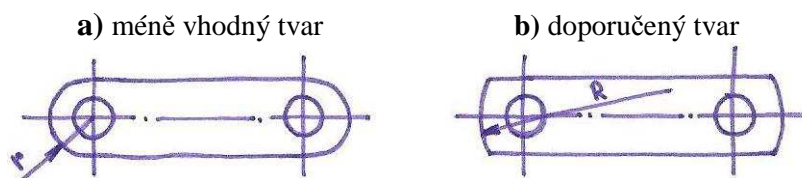
- f) Šířku vyčnívajících částí nebo nejmenší šířku štíhlých výstřižků (obr.10) volit $\bar{s} = 1,5s$.

Obr.10 Šířka vyčnívajících částí a šířka štíhlých výstřižků



- g) Plynulé přechody oblouků do přímých částí obrysu apod. zdražují nástroj a vyžadují uzavřený stříh, tj. ztrátu materiálu přepážkami či postranním odpadem, viz. obr.11.

Obr.11 Plynulé přechody



- h) Při děrování používat zkosení střižníků, při vystřihování používat zkosení střižnic, při nastřihování používat jednostranného zkosení střižníku.

2.1.3. Stříhadla

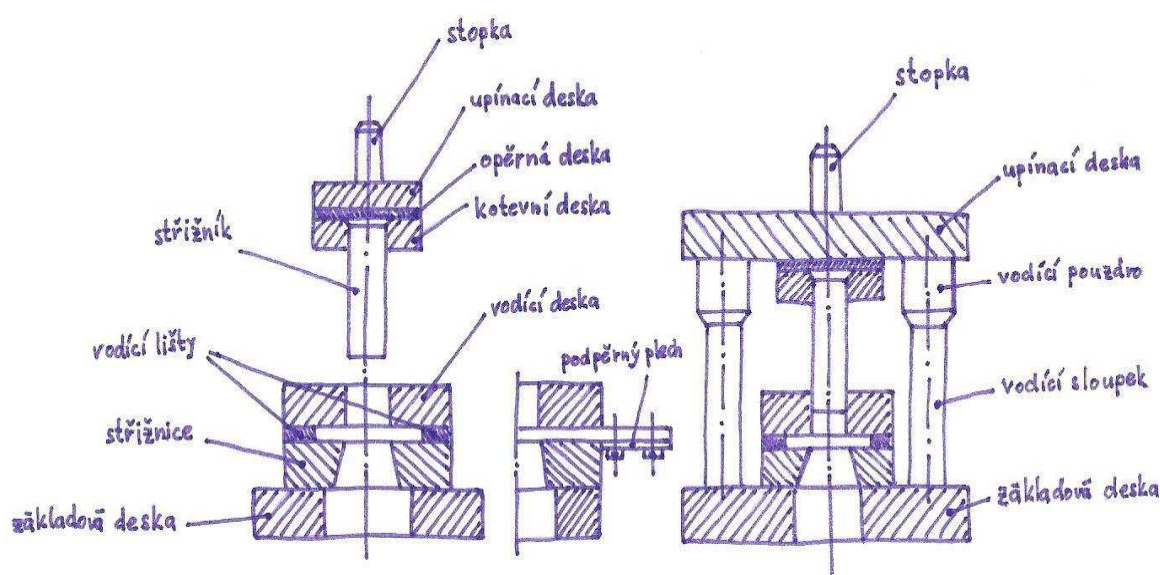
Stříhadla jsou nástroje pro stříhání, kdy funkci horního nože vykonává střižník a spodního pevného nože střižnice.

Podle počtu a druhu operací lze rozdělit nástroje na:

- nástroje jednoduché
- nástroje postupové
- nástroje sloučené (blokové)
- nástroje sdružené

Jednoduché stříhací nástroje jsou takové nástroje, kdy na jeden zdvih lisu je proveden jeden stříh. Jsou to tedy nástroje jednooperační; konstrukčně a výrobně nejméně složité. Používají se pro malý počet výlisků, vkládání polotovarů (kusových nebo pruhů plechu) je ruční, volně nebo na dorazy. U nástrojů s minimálními požadavky na přesnost výlisku je vedení střížníku do stříhu beranem lisu, kdy přesnost vedení je dána přesností vedení beranu. Nepřesným vedením dochází k velkému opotřebení činných částí nástrojů, a proto se používá vodících stojánků, do nichž se střížné nástroje přišroubují. Taková sestava se snadno upíná na stůl a beran lisu. Vodící stojánky jsou v různých provedeních i velikostech normalizovány a jsou jako normalizované díly dodávány. Příklad jednoduchého nástroje bez a s vodícím stojánkem je na obr. 12.

Obr.12



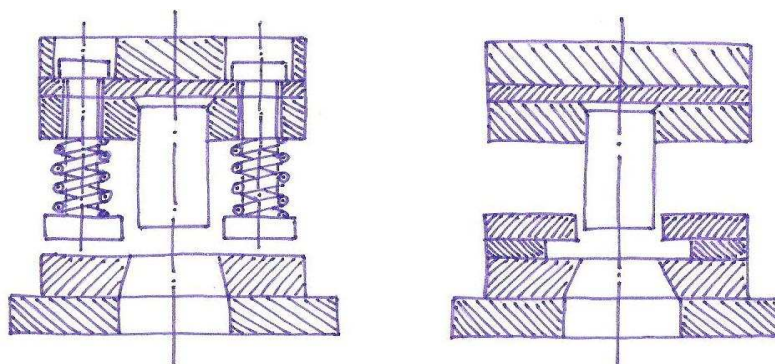
Nástroj bez vodícího stojánku

Nástroj s vodícím stojánkem

Důležitou úlohu obecně u stříhacích nástrojů hrají stěrače a přidržovače. V důsledku střížné vůle mezi břity střížníku a střížnice (resp. mezi horním a spodním nožem) nepůsobí střížné síly ideálně v jedné rovině, ale střížná síla se rozkládá na složku třecí T a normálovou F (viz obr. 8 výše). Normálová složka F vytváří klopný moment na stříhaný materiál, který lze odstranit použitím přidržovače.

Po dokončení 3. fáze stříhu, kdy střížník protlačuje vystříženou součást nebo odpad přes střížnici, se vystřihovaný plech nasune na střížník, na kterém zůstává při zpětném pohybu střížníku lpět. Aby se plech vlivem stírací síly nevytrhoval z nástroje, používají se stěrače a to buď pevné – uložené na spodní části nástroje nebo posuvné, odpružené – uložené na střížníku. V tomto případě slouží stěrač i jako přidržovač, viz. obr.13.

Obr. 13

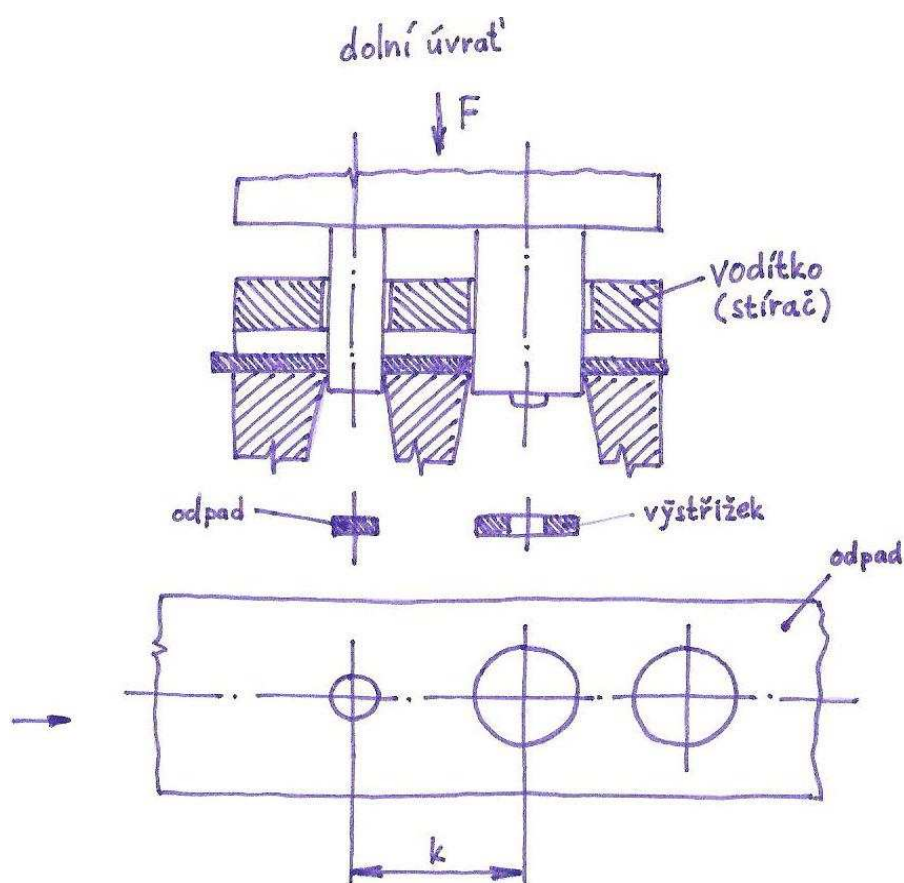


Odpružené stěrače

Pevné stěrače

Nástroje postupové jsou nástroje, kde konečný tvar výstřižku se docílí postupně na dva a více zdvihů beranu lisu, např. děrování a v dalším kroku vystřihování popř. i ohýbání. Při každém zdvihu se dokončí poslední operace. Schéma postupového nástroje na stříhání podložky je uvedeno na obr.14.

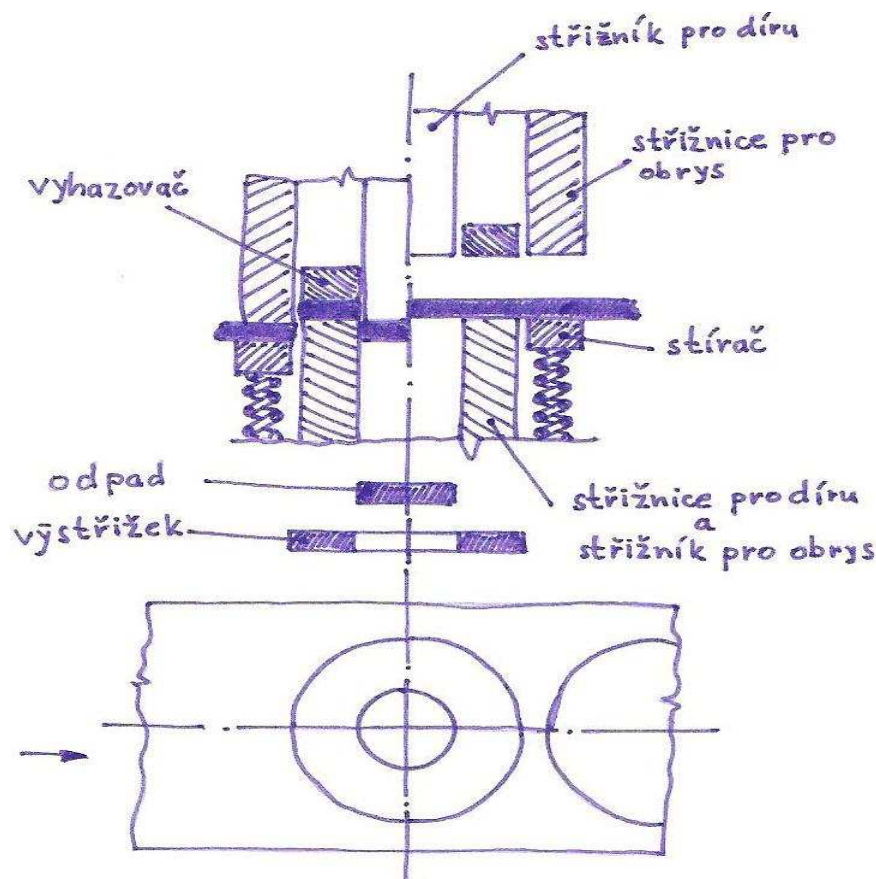
Obr.14 Postupový nástroj - schéma



Postupové nástroje jsou vysoce výkonné, výchozím polotovarem jsou výhradně pruhy nebo svitky plechu, což umožňuje použití mechanizace a automatizace tvářecích procesů. Nástroje jsou konstruovány tak, že pomocí načínacích dorazů je umožněno plynulé posouvání materiálu a poloha pásu plechu je jištěna koncovým dorazem.

Nástroje sloučené a sdružené jsou charakterizovány tím, že na jeden zdvih lisu (na jeden krok) je provedeno několik operací – u sloučeného nástroje jde o sloučení operací stejného typu (např. děrování a současně rozstřihování), u sdruženého nástroje jde o sdružené operace různého typu (např. stříhání + ohýbání, tažení). Tyto nástroje se používají pro složitější tvary výstřižků, které navíc obsahují i různé vystřihované tvarové prvky a to na jeden zdvih lisu. Jsou produktivnější oproti jednoduchým nástrojům, neboť při jednom zdvihu je provedeno více stříhů. Výchozím polotovarem jsou jak pruhy plechu, tak i kusový polotovar – přístřihy nebo odpad. Schéma sloučeného nástroje na výrobu podložky je uvedeno na obr.15.

Obr.15 Sloučený nástroj



2.2. Ohýbání na lisech

Ohýbáním na lisech se dále zpracovávají polotovary vystřižené z pruhů plechu. Nástrojem je ohybadlo. Ohybadlo se skládá z pevné čelisti – ohybnice, lisovnice a z pohyblivé čelisti – ohybníku, lisovníku. Požadovaný profil ohýbaného materiálu vytvoří mezera mezi vybraným ohybnice a ohybníku po jejich sevření.

Plechový polotovár se v nástroji ohýbá následujícími způsoby:

- a) Volný ohyb (obr. 16): polotovár není během ohybu přidržován, a tak může dojít k jeho posunutí; způsob ohybu vhodný pro součásti, u kterých není vyžadována tvarová, rozměrová přesnost. Nutno počítat s odpružením.
- b) Ohyb s kalibrací (obr. 17): kalibrace znamená vyrovnaní ramen plechového polotováru a vytvoření požadovaného úhlu rozevření. Cílem je odstranit odpružení a minimalizovat rádius ohybu.
- c) Ohyb s přidržovačem nebo bez přidržovače (obr. 18): polotovár je během ohybu přidržován, a tak je zamezeno pohybu polotováru během ohybu; způsob ohybu je vhodný pro součásti, u kterých je vyžadována tvarová, rozměrová přesnost.

Hlavním parametrem rozlišujícím volný ohyb a ohyb s kalibrací je poměr R_o/s :

pro $R_o/s > 6$ Jde o volný ohyb

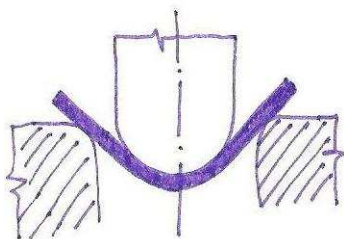
pro $R_o/s < 6$ Jde o ohyb s kalibrací

kde:

R_o – vnitřní poloměr ohybu [mm]

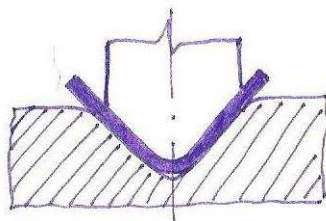
s – tloušťka materiálu [mm]

Obr.16



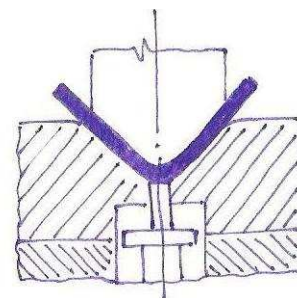
Volný ohyb

Obr.17



Ohyb s kalibrací

Obr.18

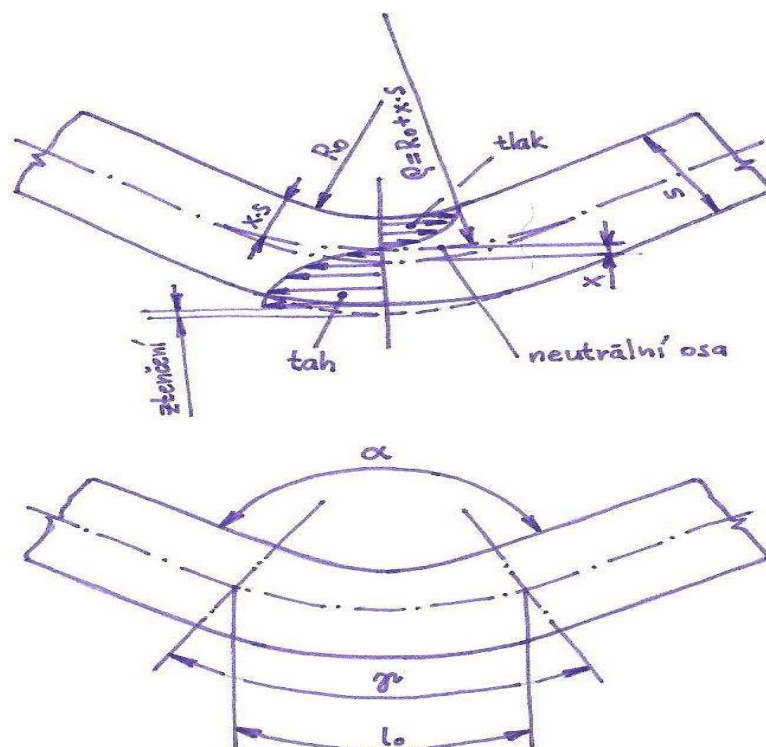


Ohyb s přidržením

Ohýbání je trvalá deformace materiálu. Touto deformací se dosahuje požadované změny tvaru plechu bez podstatné změny jeho průřezu. Ohybové napětí pro vytvoření trvalého ohybu musí být nad mezí kluzu R_e , ale nesmí překročit mez pevnosti materiálu R_m .

Působící síla a vzdálenost opěr ohybnice způsobí vznik ohybového momentu. Silová složka ohybového momentu vyvolá v materiálu napětí. Se vzrůstající hodnotou působící síly narůstá v materiálu napětí, které překračuje mez pružného chování materiálu a postupně dosahuje a překračuje hodnotu meze kluzu materiálu; napětí v materiálu po dosažení a překročení meze kluzu způsobuje jeho plastickou deformaci, tj. ohyb. V okamžiku ohybu jsou přítomny obě složky napětí, avšak po odlehčení elastické napětí vymizí – projeví se to odpružením, tj. snahou materiálu vrátit se do původního stavu. Po dalším zvýšení síly a tím i napětí v materiálu je dosažena hodnota meze pevnosti v tahu R_m a materiál se začíná trhat.

Obr.19 Rozložení napětí v materiálu při ohybu



R_0 – poloměr ohybu (vnitřní) [mm]

s – tloušťka ohýbaného materiálu [mm]

ρ – poloměr neutrální osy [mm]

x – velikost přesazení neutrální osy od původní osy průřezu [mm]

α – úhel ohybu [°]

γ – úhel ohnutého úseku [°]

l_0 – délka ohnutého úseku [mm]

Napětí v materiálu způsobí, že v podélném směru jsou vlákna kovu na vnitřní straně ohybu (na straně ohybníku) stlačována a na vnější straně ohybu (na straně ohybnice) natahována a šířka polotovaru „ b “ se tak v místě ohybu ztenčuje. Mezi tlakovým a tahovým napětím je neutrální plocha s nulovým napětím, jejíž vlákna mají původní délku. Na začátku ohybu je neutrální plocha uprostřed průřezu, při ohybu se posouvá směrem k vnitřní straně ohybu, přičemž velikost posunutí je větší při ohýbání silnějších plechů.

V místě ohybu dochází ke zpevnění materiálu (při ohybu za studena). To je výhodné, neboť odpadají další náklady na tepelné zpracování materiálu, jehož cílem je materiál zpevnit. V tom má použití ohýbání jako jedné z technologií plošného tváření výhodu proti technologiím třískového obrábění, kde se na závěr výroby součásti řadí operace tepelného zpracování (kalení, popouštění, žíhání, zušlechťování).

Deformace průřezu ohýbaného materiálu

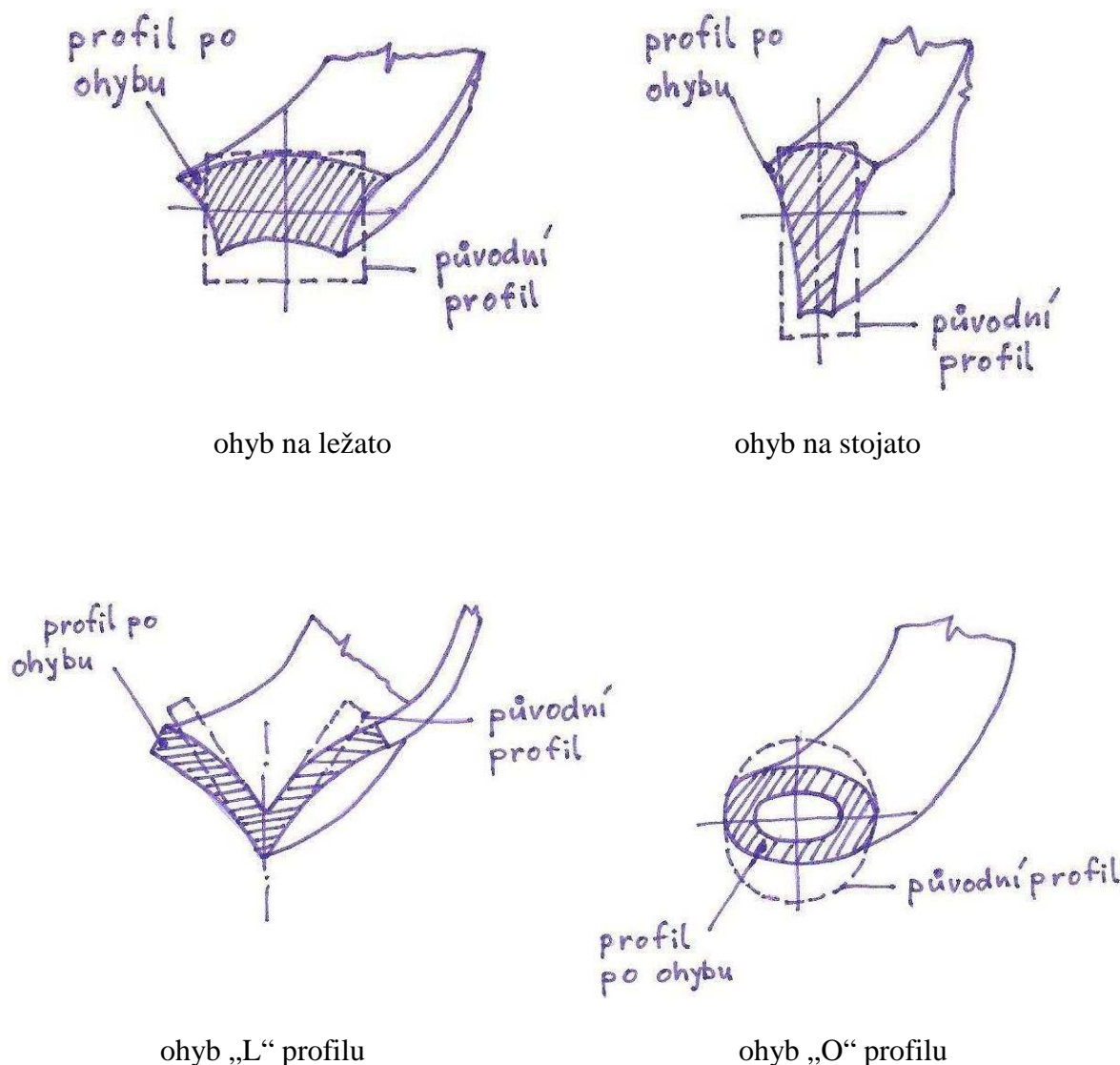
Působením tahového a tlakového napětí dochází k deformaci průřezu v místě ohybu, kdy vyšší průřezy jsou více deformovány než nižší.

U průřezů, kde šířka $b < 3s$ jsou vlákna kovu na vnitřní straně výstřižku v příčném směru roztahována a na vnější straně výstřižku stlačována, tak dochází k příčnému zkřivení průřezu.

U průřezů, kde $b > 3s$ není zkřivení příčného průřezu tak patrné. Dále vlivem stlačování a prodlužování vláken v podélném směru dochází ke ztenčení materiálu v místě ohybu.

Deformace průřezu pro rozdílné výšky a profily je uvedena na obr.20.

Obr.20 Deformace průřezů



Rozvinutá délka polotovaru

K určení rozvinuté délky polotovaru před ohybem se vychází z délky neutrální osy a z délky rovných úseků. Je nutno zohlednit posunutí neutrální osy. Při ohýbání tenkých plechů je velikost posunutí neutrální osy minimální u tlustších se však s posunutím musí počítat. Polohu neutrální osy charakterizuje součinitel posunutí „ x “, v závislosti na poměru R_o/s .

Odborná literatura uvádí následující hodnoty součinitele „ x “ pro ohýbání širokých pásů plechu $b > 3s$, malého poloměru ohybu, kde poměr $(R_o/s) < 6$ – viz. tab.2.

Tab.2 Hodnoty součinitele „x“ v závislosti na poměru R_o/s

-----	R_m	R_o/s											
		0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,5	2	3	4
Součinitel x	do 400 MPa	0,25	0,3	0,32	0,34	0,36	0,37	0,38	0,4	0,44	0,45	0,46	0,47
	nad 400 MPa	-----								0,37	0,38	0,4	0,42

Výpočet poloměru neutrální vrstvy (osy) udává i ČSN 01 7009, dle které se uvažuje, že neutrální osa ohýbané součásti je v jedné třetině tloušťky materiálu při vnitřním rádiu ohybu a to při úhlu ohybu do 90°. Při úhlu ohybu od 90° do 150° je pak její poloha uvažována v 1/2 tl. plechu. Pro běžné případy se takto vypočítaný poloměr neutrální vrstvy bere jako dostatečně přesný. Tzv. třetinové neutrální vlákno se běžně používá v nástrojařské praxi.

Dle ČSN je tedy součinitel posunutí neutrální vrstvy $x = 1/3$.

Poloměr ohybu posunuté neutrální vrstvy ρ je potom:

$$\rho = R_o + (x * s) \quad [\text{mm}] \quad (6)$$

Délka oblouku ohýbané součásti se dle ČSN 01 7009 vypočte dle:

$$L_o = 0,01745 * (R_o + 1/3 * s) * (180 - \alpha) \quad [\text{mm}] \quad (7)$$

kde:

α – úhel ohybu [°]

Délka polotovaru je pak:

$$L_c = L_o + L \quad [\text{mm}]$$

kde:

L_c – celková délka polotovaru [mm]

L_o – délka ohnuté části - oblouku [mm]

L – délka rovné části [mm]

2.2.1. Ohýbací síla a práce pro ohyb tvaru „V“ a „U“

Výpočet ohýbací síly pro ohyb tvaru „V“

Velikost síly potřebné pro ohnutí materiálu udává ČSN 22 7340 takto:

$$F_{ov} = (c * R_m * b * s^2) / l_v \quad [\text{N}] \quad (8)$$

kde:

F_{ov} – ohýbací síla pro ohyb tvaru „V“ [N]

b – šířka ohybu [mm]

s – tloušťka plechu [mm]
 l_v – vzdálenost opěr ohybnice [mm]
 R_m – pevnost materiálu v tahu [MPa]
 c – součinitel, jehož hodnota je závislá na l_v [-]

Pro současné vyrovnaní ohýbané součásti – kalibrace v závěru zdvihu lisu se potřebná vyrovnávací síla určí ze vztahu

$$F_v = S * p \quad [\text{N}] \quad (9)$$

kde:

F_v – síla potřebná k vyrovnaní [N]
 p – měrný tlak [MPa] - určuje se dle tab. 3
 S – vyrovnávaná plocha [mm²]

Vyrovnaná plocha „S“ je :

$$S = b * [l_v - \sqrt{2} * (R_2 + s)] \quad [\text{mm}^2]$$

kde:

R_2 – poloměr zaoblení pohyblivé čelisti [mm]

Tab.3 Měrný tlak k vyrovnaní výlisku

Materiál		$s < 3 \text{ mm}$	$s = 3 \text{ až } 10 \text{ mm}$
		$p \text{ [MPa]}$	
ocel	$R_m < 440 \text{ MPa}$	80 až 100	100 až 120
	$R_m > 440 \text{ MPa}$	100 až 120	120 až 150

Potřebná celková síla F_{cv} ohybu se současným vyrovnaním ramen výlisku (kalibrací) je tedy:

$$F_{cv} = F_{ov} + F_v \quad [\text{N}]$$

Výpočet ohýbací síly pro ohyb tvaru „U“

Velikost síly potřebné pro ohnutí materiálu udává ČSN 22 7340 takto:

$$F_{ou} = (0,4 * R_m * s^2 * b) / l_m \quad [\text{N}] \quad (10)$$

kde:

F_{ou} – ohýbací síla pro ohyb [N] dle obr.21
 b – součet všech šířek ohybu [mm]
 s – tloušťka plechu [mm]
 R_m – pevnost materiálu v tahu [MPa]
 l_m – rameno ohybu [mm]

Velikost ramene ohybu l_m je v závislosti na tloušťce plechu a rádiusech pevné a pohyblivé ohýbací čelisti dána vztahem:

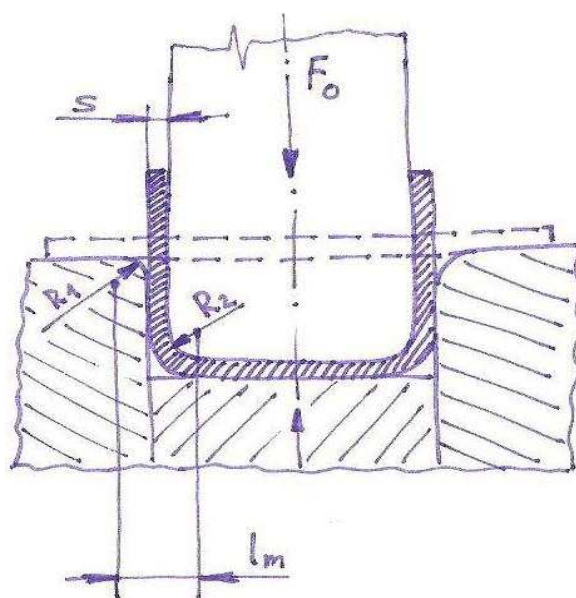
$$l_m = 1,2s + R_1 + R_2 \quad (11)$$

kde:

R_1 – poloměr zaoblení pevné čelisti [mm]

R_2 – poloměr zaoblení pohyblivé čelisti [mm]

Obr.21



Tento výpočet ohýbací síly platí pro ohýbání bez přidržovače. Při ohýbání s přidržovačem je nutno ohýbací sílu zvětšit o sílu přidržovače F_p (přidrřovač slouží současně jako vyhazovač), kdy:

$$F_p = (0,25 \text{ až } 0,3) * F_{ou} \quad [\text{N}] \quad (12)$$

Při ohýbání s kalibrací je nutno počítat s celkovou silou:

$$F_{cu} = 3 * (F_{ou} + F_p) \quad [\text{N}] \quad (13)$$

Výpočet práce pro „V“ ohyb a „U“ ohyb

Výpočet práce potřebné k ohýbání do tvaru „V“ včetně vyrovnaní ramen výlisku dle ČSN 22 7340:

$$A_{ov} = m * [(F_{cv} * h_v)/1000] \quad [\text{J}] \quad (14)$$

kde:

A_{ov} – práce pro ohyb tvaru „V“ [J]

F_{cv} – celková síla potřebná k ohybu do tvaru „V“ a k vyrovnání ramen výlisku [N]
 m – součinitel respektující průběh síly; $m = 1/3$ [-]
 h_v – pracovní zdvih [mm]

Výpočet práce potřebné k ohýbání do tvaru „U“ včetně kalibrace dle ČSN 22 7340:

$$A_{ou} = m * [(F_{cu} * h_u)/1000] \quad [J] \quad (15)$$

kde:

A_{ou} – práce pro ohyb tvaru „U“ [J]

F_{cu} – celková síla potřebná k ohybu do tvaru „U“ včetně kalibrace [N]

m – součinitel respektující průběh síly; $m = 1/6$ [-]

h_u – pracovní zdvih [mm]

2.2.2. Technologické problémy při ohýbání a způsoby jejich eliminace

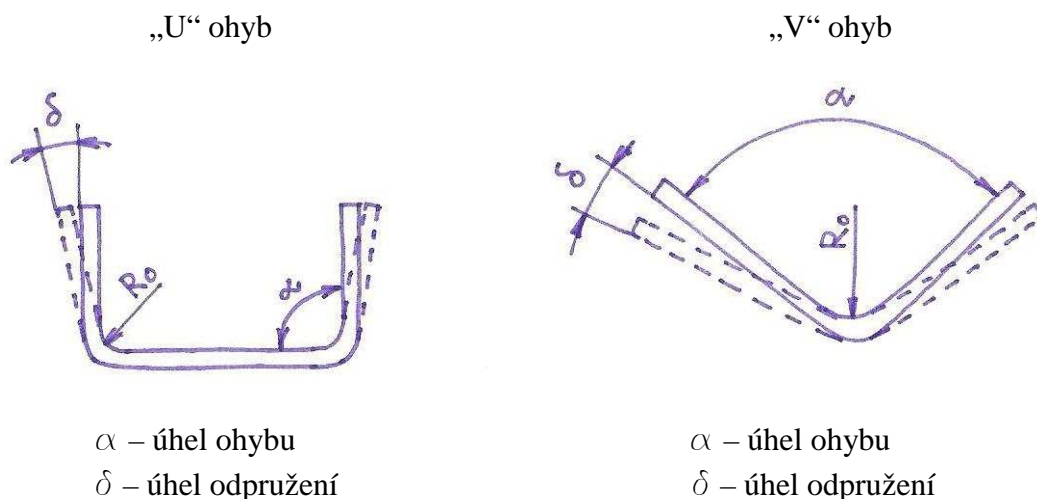
Hlavní problémy při ohýbání lze definovat takto:

- odpružení materiálu
- vznik trhlin, praskání ohýbaného materiálu na vnější straně ohybu
- deformace průřezu ohýbaného materiálu (byla zmíněna již dříve)

Odpružení

Jak již bylo výše řečeno, při ohýbání plechového polotovaru je plastická deformace provázena pružnou deformací. Pružná deformace po odlehčení zatížení mizí a tvářený materiál tak má snahu vrátit se do výchozího tvaru. Prakticky se to projeví změnou úhlu otevření; odpružení způsobí, že úhel otevření ohnutého polotovaru je větší než výkresem požadovaný úhel ohybu.

Obr.22 Odpružení



Velikost odpružení je rozdílná za použití ohýbání bez přidržení polotovaru a za použití ohýbání s přidržením polotovaru s kalibrací. Odpružení se vyjadřuje úhlem odpružení δ ; o úhel δ je třeba zmenšit úhel ohybu nebo úhel ohybníku, tak aby se dosáhlo požadovaného úhlu ohýbané součásti.

Velikost úhlu odpružení je závislá na:

- poloměru ohybu R_o a tloušťce materiálu „s“, resp. na poměru R_o/s
- způsobu ohýbání
- seřízení lisu
- konstrukci ohýbadla, vůli mezi ohýbacími čelistmi
- tvárnosti materiálu
- velikosti požadovaného úhlu
- velikosti měrného tlaku při kalibraci úhlu

Velikost úhlu odpružení bývá v rozsahu 3° – 15° . Hodnoty úhlu odpružení udává tab. 4.

Tab.4 Velikost úhlu odpružení

Tloušťka plechu s [mm]	Rádus ohybu R_o [mm]	Úhel odpružení δ [$^\circ$]
s = 0,8	$R_o = s$	$\delta = 4^\circ$
	$R_o = (1 \text{ až } 5)s$	$\delta = 5^\circ$
	$R_o = 5s$	$\delta = 6^\circ$
s = 0,8 až 2	$R_o = s$	$\delta = 2^\circ$
	$R_o = (1 \text{ až } 5)s$	$\delta = 3^\circ$
	$R_o = 5s$	$\delta = 6^\circ$
s = 2 <	$R_o = s$	$\delta = 0^\circ$
	$R_o = (1 \text{ až } 5)s$	$\delta = 1^\circ$
	$R_o = 5s$	$\delta = 2^\circ$

Velikost úhlu odpružení lze stanovit i výpočtem.

Způsoby eliminace pružení při ohýbání

Vznik odpružení je nevýhoda, kterou přináší použití ohýbání jako jedné z technologií plošného tváření. Dá se téměř beze zbytku odstranit a to:

- kalibrací s ražením úhlu, tj. zvětšením lisovací síly na konci pracovního cyklu
- vhodnými úpravami ohýbadel, jak na lisovníku tak na lisovnici, aplikací pomocných ústrojí ohýbacích nástrojů, popř. i konstrukcí výlisku; např.:
 - podbroušením lisovníku na jeho obvodové ploše o úhel odpružení nebo jeho dosedací plochy.
 - podbroušením dosedací plochy lisovnice resp. přidržovače do rádiusu.
 - vyztužením ohýbaného ramene žebrem.
 - podbroušením obvodové části lisovnice.
 - aplikací spodního přidržovače, jež může sloužit i jako vyhazovač.
 - použití nástroje s pomocnými pohyblivými čelistmi s vodorovným pohybem šikmým, přímočarým nebo po kruhovém oblouku.

Vznik trhlin

Vznik trhlin na vnější straně ohýbaného materiálu závisí na:

- překročení kritické hodnoty poloměru ohybu R_{\min} .
- směru vláken vůči ose ohybu.
- stavu materiálu, tj., je-li materiál tvářený za studena, žíhaný apod.
- na poloze otřepu

Minimální poloměr ohybu R_{min}

Minimální poloměr ohybu R_{min} je takový nejmenší poloměr ohybu, při kterém se ještě netvoří v materiálu trhliny a závisí na tvářitelnosti použitého materiálu. Nejmenší doporučené poloměry ohybu pro ocelové plechy jsou uvedeny v tab.5.

Tab.5 Nejmenší poloměr ohybu R_{min}

Ocel o mezi pevnosti v tahu R_m [MPa]	Ohyb napříč nebo podél vláken	Nejmenší poloměr ohybu pro tloušťky plechu										
		1	od 1 do 1,5	od 1,5 do 2,5	od 2,5 do 3	od 3 do 4	od 4 do 5	od 5 do 6	od 6 do 7	od 7 do 8	od 8 do 10	od 10 do 12
do 392	napříč	1	1,6	2,5	3	5	6	8	10	12	16	20
	podél	1	1,6	2,5	3	6	8	10	12	16	20	25
od 392	napříč	1,2	2	3	4	5	8	10	12	16	20	25
do 490	podél	1,2	2	3	4	6	10	12	16	20	25	32
od 490	napříč	1,6	2,5	4	5	6	8	10	12	16	20	25
do 637	podél	1,6	2,5	4	5	8	10	12	16	20	25	32
Poznámka: v tabulce uvedené nejmenší poloměry ohybu platí pro úhly ohybu α rovné nebo menší než 120° . Pro α větší než 120° je nutno zvolit nejbližší větší poloměr ohybu.												

(rozměry v tabulce jsou v mm)

Vedle minimálního poloměru ohybu je při ohýbání důležitá i velikost maximálního poloměru ohybu. Ten samozřejmě nemá vliv na praskání materiálu, ale na jeho velikosti závisí vznik plastické deformace a tím i ohnutí materiálu. Maximální poloměr ohybu R_{max} je tedy takový poloměr ohybu, při kterém musí dojít k plastické deformaci materiálu.

Minimální a maximální poloměr ohybu lze stanovit rovněž výpočtem.

Způsoby eliminace vzniku trhlin při ohýbání

Vzniku trhlin je vždy potřeba zabránit, protože vznikem trhlin je výlisek nepoužitelný. Technologicky lze eliminovat vznik trhlin respektováním hodnot poloměrů ohybů, a to v rozmezí R_{min} až R_{max} . Z hlediska odpružení je vhodné volit poloměr ohybu co nejmenší, ale vzhledem k tvárnosti materiálu a tloušťce co největší.

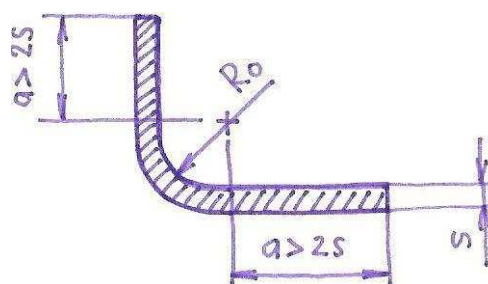
Dalším opatřením vedoucím k eliminaci trhlin je orientace směru vláken materiálu kolmo na osu ohybu. U dvojitého ohybu (ohyby krabicovitého tvaru) mají být vlákna k ose ohybu orientována pod úhlem 45° . U výstřižků, kdy vzniká otřep, je nutné orientovat výstřižek při ohybu tak, aby otřep byl na vnitřní straně ohybu.

2.2.3. Technologická doporučení z hlediska ohýbání

- Osou ohybu volit kolmo na směr vláken (jinak je nutno zvětšit poloměr ohybu).
- Místo volného ohybu ohýbat s kalibrací. Při použití ohýbání s kalibrací je odpružení minimalizováno, avšak za cenu dvoj až trojnásobného zvýšení ohýbací síly.

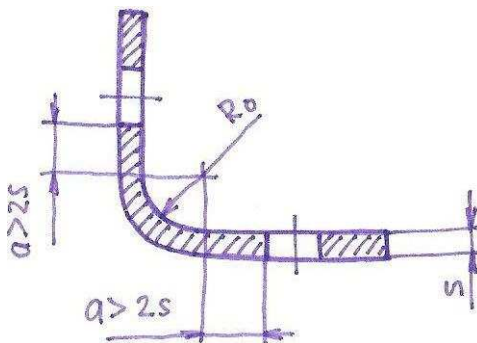
- c) Úprava funkčních částí ohýbacího nástroje; např. při ohýbání součástí s různou délkou, resp. šířkou ramen se pomocí kolíků v ohybníku, které se zasunou do technologického otvoru v plechu, zabrání posunutí místa ohybu.
- d) Vytvoření přídavného napětí natažením ohýbané součásti.
- e) Technologicko-konstrukční úpravy ohýbané součásti, které zahrnují:
 - Minimální délka ohýbaného ramene má být $a > 2s$; obr.23 (při požadavku délky ramene $a < 2s$ rameno ohnout podle doporučení $a > 2s$ a přebytek odstříhnout).

Obr.23 Minimální délka ohýbaného ramene



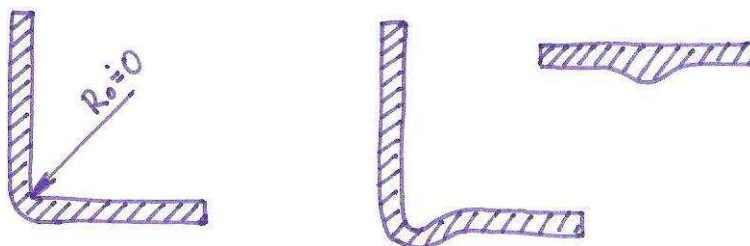
- Podmínku $a > 2s$ je nutno dodržet i v případě ohybu ramene s otvorem, aby se zabránilo deformaci otvoru na rameni; obr.24.

Obr.24 Zabránění deformace otvoru



- Při ostrých ohybech, kdy se poloměr ohybu R_0 blíží k nule, vytvořit v místě předpokládaného „ostrého“ ohybu potřebný objem kovu a následně úhel kalibrovat – obr.25.

Obr.25 Ostrý ohyb



- f) Volit rádiusy ohybu v mezích R_{\min} a R_{\max} .
- g) Ocelový polotovar ohýbat tak, aby ořepy byly na vnitřní straně ohybu.

2.2.4. Ohybadla

Volba konstrukčního provedení ohýbacích nástrojů musí respektovat geometrický tvar dílce, přesnost provedení ohybu a počet kusů výlisků.

Ohýbací nástroje lze rozdělit:

- dle jejich konstrukce na:
 - jednoduchá
 - postupová
 - sdužená
- dle tvaru provedení ohybu na:
 - jeden rádius ohybu typu „V“ a „L“
 - dva rádiusy ohybu typu „U“ a „Z“
 - pro uzavřené tvary typu „O“ a „C“
- dle způsobů ovládání lisovníku na:
 - přímé ovládání beranem
 - nepřímé ovládání pomocí klínů, pák či pružin
- dle způsobu vedení lisovníku na:
 - volné vedení lisovníku přímo beranem
 - přesné vedení vodíci stojánky
- dle způsobů ohýbání na:
 - pro volné ohyby
 - pro ohyb s kalibrací tvaru
 - pro ohraňování
 - pro zakružování

Jako pomocná ústrojí se u ohýbacích nástrojů používají:

- a) zakládací dorazy pro vymezení správné polohy dílce vůči činným částem ohýbadel.
- b) spodní přídržovače k sevření dílce před vlastním ohybem pro zabránění deformace dílce. Přídržovače slouží i jako vyhazovače ohnutého dílce z dutiny nástroje do zakládací roviny.
- c) stěrače pro sejmutí výlisku z horní části nástroje.

Pro správnou funkci ohýbacích nástrojů je důležitá jejich geometrie, jež podmiňuje přetvárný proces ohýbání. Při ohýbání do tvaru „U“ se jedná o rádiusy zaoblení pohyblivého lisovníku, které vytváří poloměr ohybu ohýbané součásti a volí se dle vnitřního poloměru ohybu, o rádiusy zaoblení pevné lisovnice přes které je plech vtahován do dutiny nástroje a o vůle mezi lisovníkem a lisovnicí.

Při malém rádiusu zaoblení pevné čelisti je zapotřebí větší ohýbací síly a plech je odírán o hranu. Rádiusy zaoblení pevné čelisti jsou závislé na tl. plechu, pevnosti materiálu a délce převislého konce. Obecně platí, že menší pevnost plechu umožňuje větší rádius a menší šířka ohybu větší rádius zaoblení. Ve vztahu k tloušťce materiálu se volí rádius zaoblení např. pro plech třídy 11 v rozsahu (3–5)s.

Ohýbací vůle je rovněž závislá na síle plechu a na požadované přesnosti ohybu. Malá vůle zvyšuje odpor plechu při vtahování a má vliv na pružení po ohybu. Ohýbací vůle se volí v rozsahu (1,05–1,15)s pro ocelové plechy.

2.2.5. Ohýbání zakružování

Jak již bylo naznačeno v kapitole týkající se ohýbání, lze dle informací z literatury pomocí lisovacích nástrojů vyrábět výlisky jež mají v příčných směrech kruhový či nekruhový tvar a v podélném směru jsou povrchy výlisků přímkové, tedy ohýbat plech zakružováním v zakružovacích nástrojích. Protože oko závěsu přímo vybízí k tomuto způsobu výroby jsou zde shrnuty získané poznatky z literatury.

Způsobů pro ohýbání zakružování je celá řada a jejich principy jsou závislé na velikosti a celkovém tvaru dílce, průměru zakroužení a počtu vyráběných dílů.

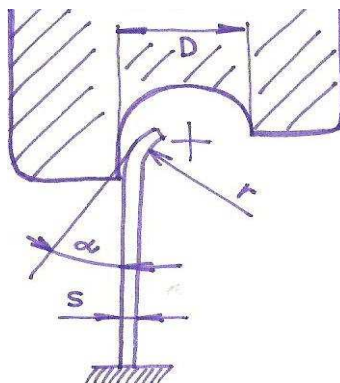
Ohýbání zakružování je vtlačování plechu s předohnutým okrajem do kruhové drážky ve směru tečny. Materiál kopíruje pak tvar kruhové drážky. Tento způsob se v literatuře vyskytuje i pod pojmem čelní zakružování a je vhodný hlavně pro výrobu oka závěsu.

Při vtlačování okraje plechu do drážky je plech v ostatní části namáhán na vzpěr a konstrukce nástroje musí být upravena tak, aby nedošlo ke zborcení rovné části plechu.

Vnější průměr zakroužení D je závislý na tloušťce materiálu „ s “ a na provedení zakružovací drážky v lisovníku.

Válcový ohyb lze uskutečnit je-li $D < 6,6s$, při větším vnějším průměru ohybu vznikne ohyb nikoliv válcový, ale lomený. Zpravidla se při zakružování volí vnější průměr oka v rozsahu $D = (4-6,4)s$. Je-li D větší než uvedené hodnoty, je třeba zakružovat kolem trnu, jehož průměr se rovná vnitřnímu průměru oka závěsu. Pro deformaci průřezu, polohu neutrální osy a rozvinutou délku polotovaru při zakružování platí stejná pravidla jak bylo uvedeno v kapitole 2.2. Ohýbání na lisech. Schéma ohýbání zakružování oka závěsu je na obr.26.

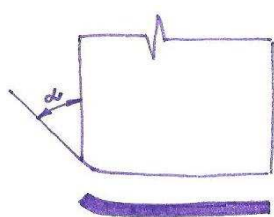
Obr. 26 Schéma ohýbání zakružování



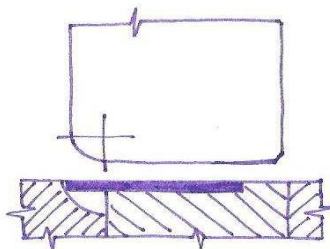
Aby okraj plechu při ohýbání zakružování nezůstal rovný a zakroužení bylo snadnější, je třeba aby tvářený polotvar měl předehnutý okraj. Předehnutí se provádí o velikosti $r = (0,1-0,2)D$ v takovém úseku, aby tečna předohybu byla $\alpha = 25^\circ-45^\circ$, viz. obr. 26.

U menších tloušťek plechu se předehnutí provádí současně při prostřihování polotovaru. Pro plechy tloušťky $s < 0,5$ mm je průstřižník v ploše vytvářející předohyb zbrousen do radiusu, a úhel přihnání α se volí o velikosti $45^\circ-50^\circ$. Pro silnější plechy se předohyb provádí po vystřižení přístřihu v ohybadle na příslušný radius v úhlu $25^\circ-45^\circ$. Předohyb plechu pro tenké a silnější materiály je na obr.27.

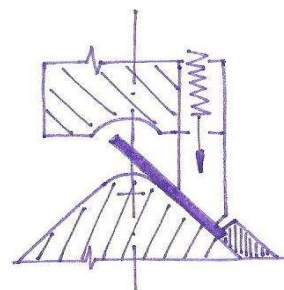
Obr.27 Předohyb pro tenké a silnější materiály



střih s předohybem pro
tenké plechy



ohybadla pro předohyb
silnějšího plechu



Určení síly pro zakružování

Síla F potřebná pro zakružování se určí ze vztahu:

$$F = (b * s^2 * \sigma_g * \lambda) / (6 * \nu * \rho) \quad [\text{N}] \quad (16)$$

kde:

F – síla pro zakružování [N]

s – tloušťka materiálu [mm]

b – šířka materiálu [mm]

σ_g – náhradní ohybové napětí [MPa]

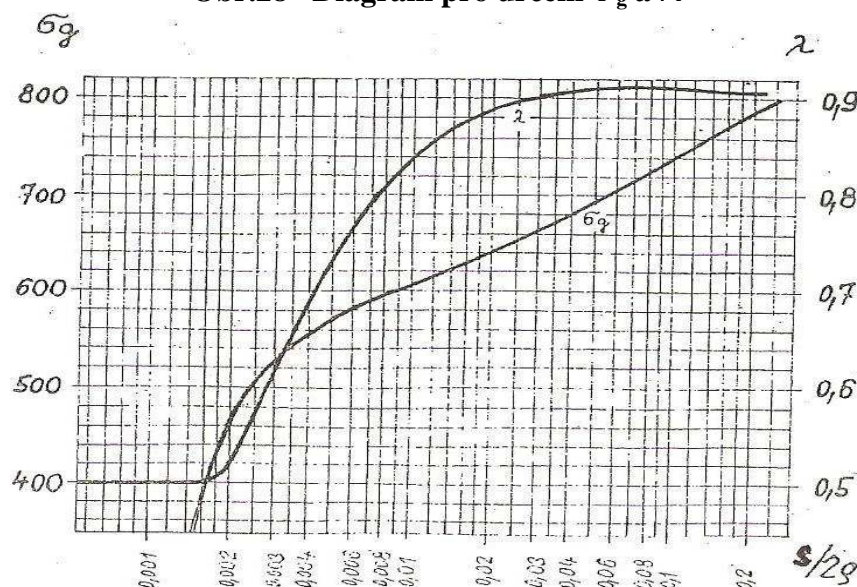
λ – součinitel [-]

ν – součinitel účinnosti procesu [-]

ρ – poloměr neutrální osy [mm]

Náhradní ohybové napětí σ_g a součinitel λ se určují z diagramů v závislosti na relativním zakřivení dané vztahem $s/(2 * \rho)$. Diagram ohýbání pro plech válcovaný za studena pro $R_m = 460$ MPa je uveden na obr.28.

Obr.28 Diagram pro určení σ_g a λ



Součinitel účinnosti ν zahrnuje ztráty třením při zakružování a dle praktických zkušeností má hodnotu 0,8.

Technologická doporučení pro ohýbání zakružováním

Technologická hlediska pro ohýbání zakružováním jsou shodná jako u ohýbání na lisech, viz. kap. 2.2.3.

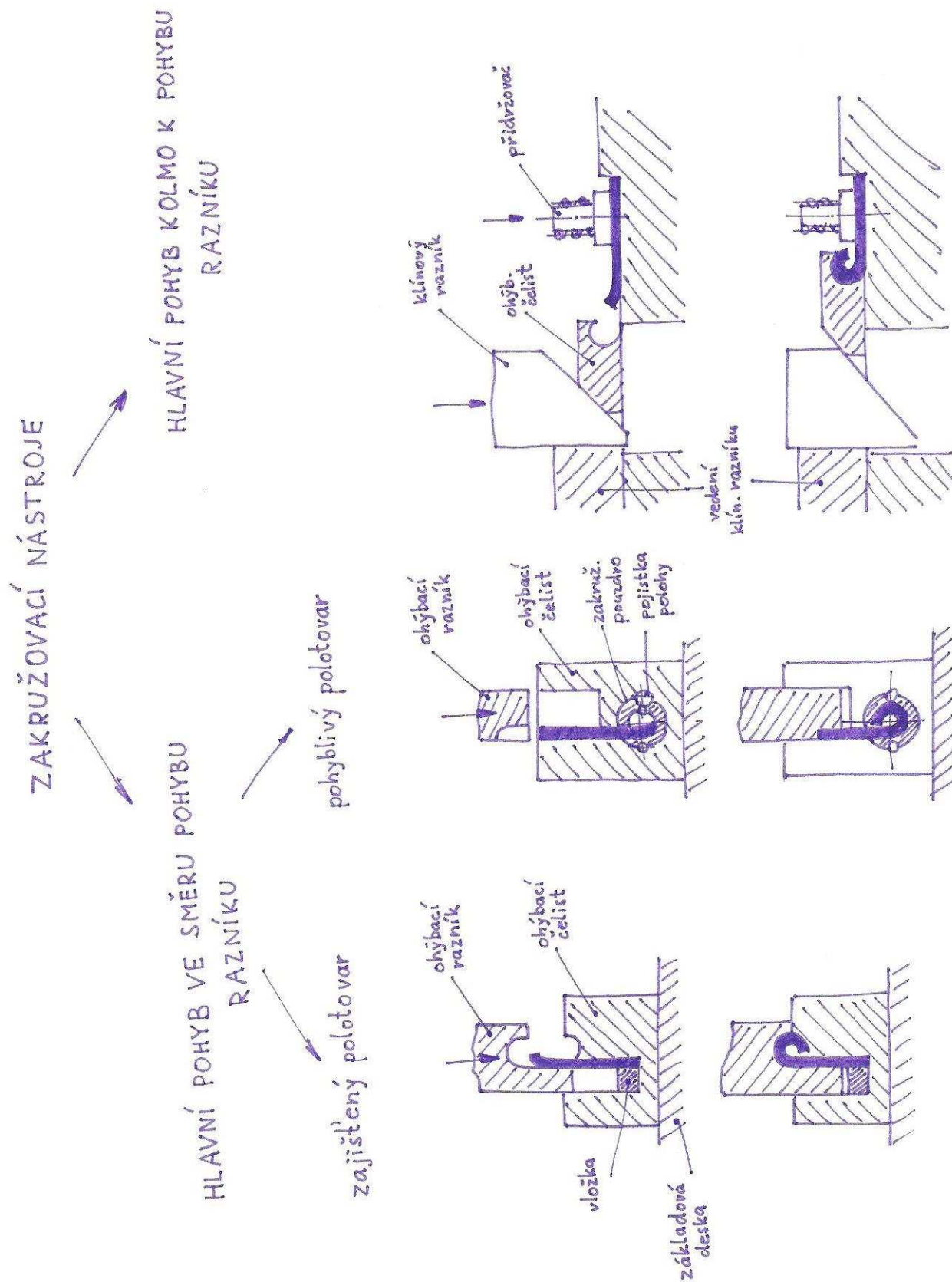
Kromě toho je třeba respektovat tyto další zásady:

- vnější průměr zakroužení $D < 6,6s$.
- zakružovat vždy s předohybem o velikosti radiusu předohybu $r = (0,1-0,2) * D$, s tečnou vyhnutí okraje $\alpha = 25^\circ-45^\circ$.

Nástroje pro zakružování

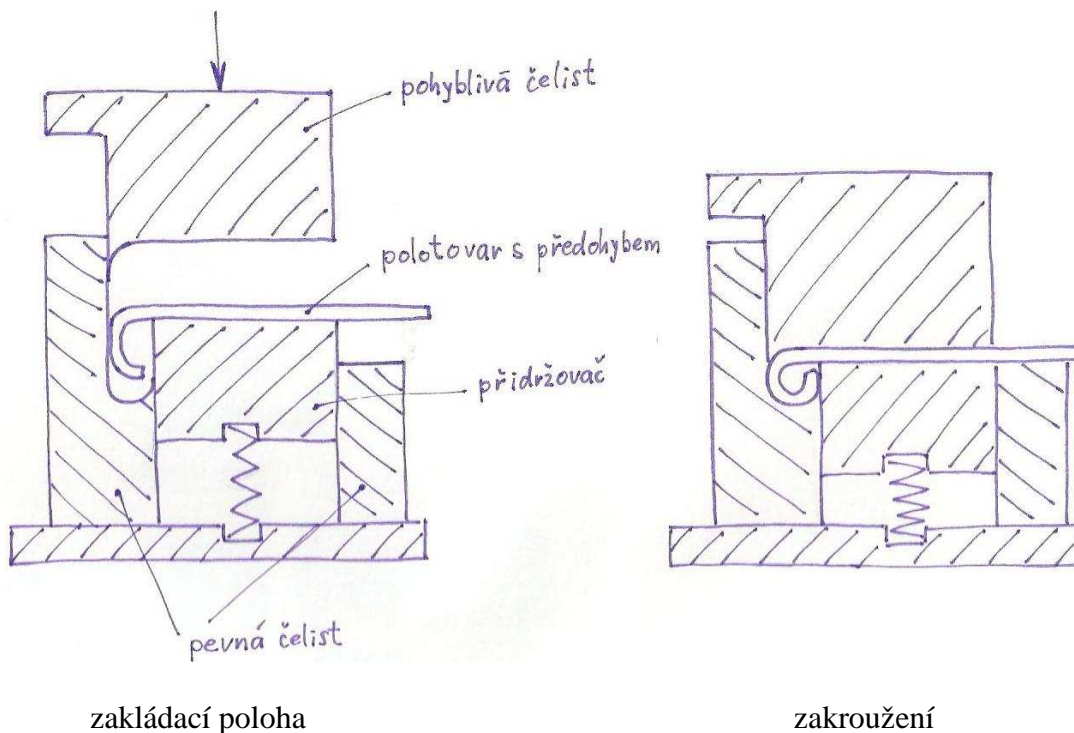
Nástroje pro zakružování - zejména pro zakružování ok závěsů mohou být konstruovány jako svislé, a to se zajištěným - pevně ustaveným polotovarem, kdy zakružovací drážka je vytvořena v pohyblivé čelisti nebo s pohyblivým polotovarem, kdy zakružovací drážka je v pevné čelisti. Toto uspořádání je limitováno výškou nástroje resp. sevřením použitého lisu. Při větších délkách volného konce plechu se používá pohybu ohýbací čelisti se zakružovací drážkou kolmo na pohyb beranu - polotovar je ve vodorovné poloze. Vyvození kolmého pohybu ohýbací čelisti vůči beranu se provádí pomocí klínu. Schéma zakružovacích nástrojů je na obr.29.

Obr.29 Schéma zakružovacích nástrojů



Princip zakružování lze aplikovat i tehdy, je-li proveden předohyb začátku i konce budoucího oka, tj. ohyb polotovaru do tvaru „U“ s jedním krátkým ramenem ohybu. Následné svinutí v ohýbacím nástroji se provede tak, že materiál je pevně sevřen za delší rameno a předehtý okraj je vtlačován do pevné kruhové drážky nástroje. Schéma tohoto principu je na obr.30.

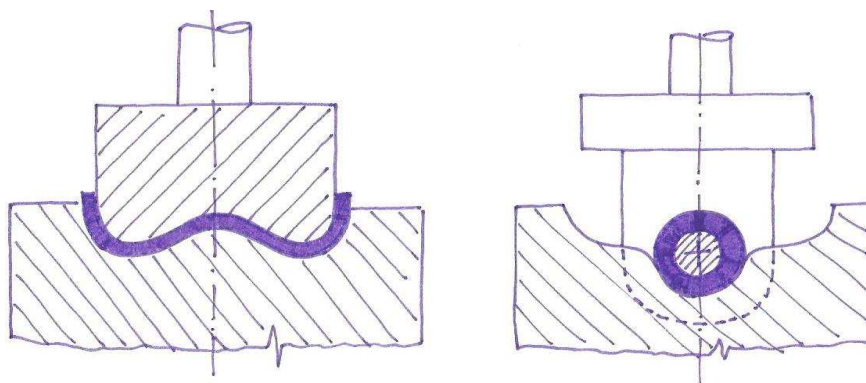
Obr.30 Zakružovací nástroj se dvěma předohyby polotovaru



Další principy při ohýbání zakružování:

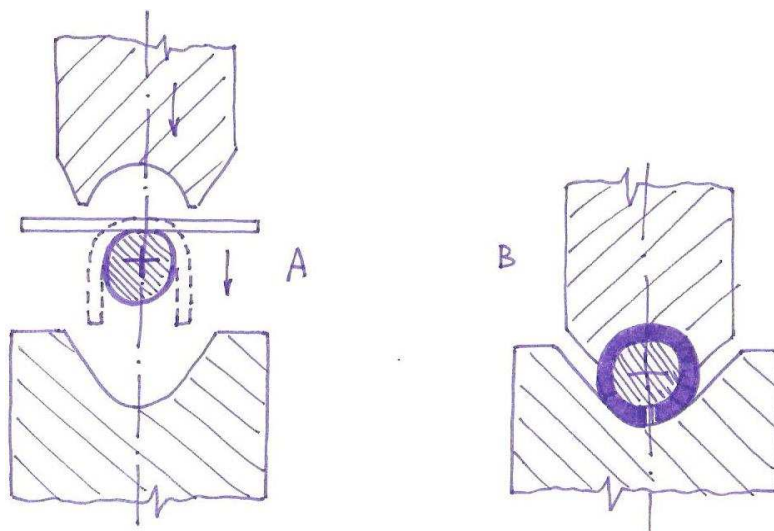
Ohýbání zakružování na dvě operace s trnem, kdy v prvním nástroji se provede předohyb tvaru vlnky nebo tvaru „U“ a ve druhé operaci se provede dohnutí přes trn. Schéma takového nástroje je na obr.31. Tento způsob se používá pro tlustší plechy a pro větší průměry zakroužení.

Obr.31 Ohýbání zakružování na dvě operace



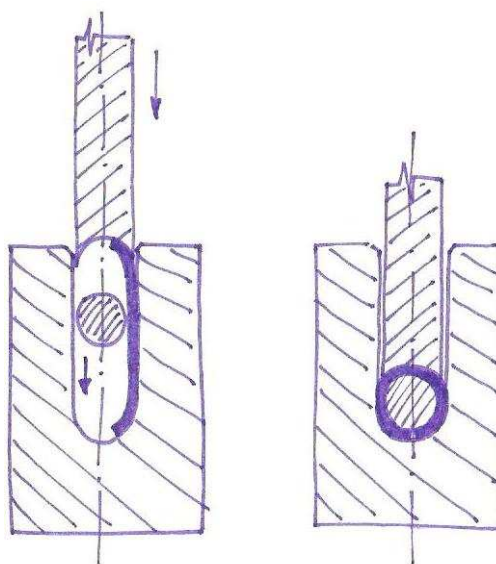
Ohýbání zakružováním na jednu operaci s trnem, kdy v jednom nástroji s odpruženým trnem umístěným mezi lisovníkem a lisovnicí je v první fázi (v části zdvihu beranu) proveden ohyb plechu do tvaru „U“ přes trn, ve druhé fázi (při dokončení zdvihu beranu) pak zakroužení okrajů v lisovnici, event. i kalibrace tvaru. Schéma takového nástroje je na obr.32.

Obr.32 Ohýbání zakružováním na jednu operaci



Ohýbání zakružováním v drážce na dvě operace, buď s trnem pro kruhové průřezy výlisku nebo bez trnu pro profilové průřezy. Plech s předohnutými okraji je ustaven v lisovnici s odpruženým trnem, přičemž při pohybu lisovníku dochází postupně k zakroužení a kalibraci tvaru kolem trnu. Schéma takového nástroje je na obr.33.

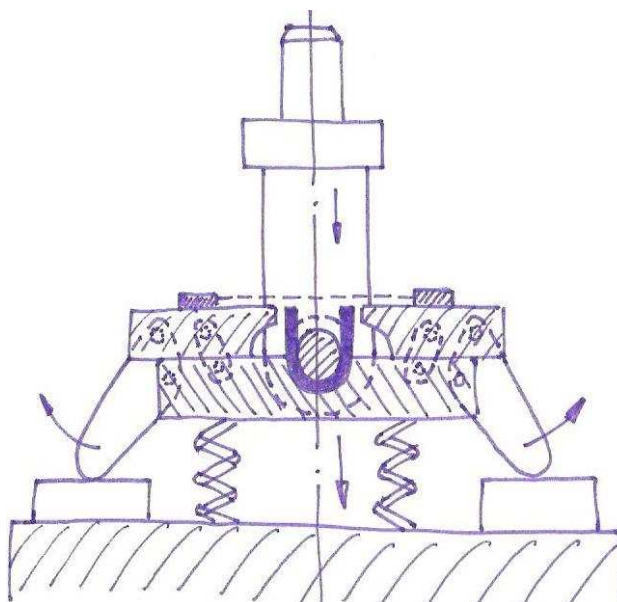
Obr.33 Ohýbání zakružováním v drážce



Ohýbání zakružováním posuvnými bočními čelistmi, které vykonávají pohyb kolmý na pohyb beranu. Vodorovný pohyb čelistí lze zajistit pomocí klínů - princip klínového nástroje pro uzavřené tvary nebo přes pákový mechanismus nástroje. V první fázi zdvihu beranu se

plech ohne přes zaoblenou hranu čelistí a ve druhé části zdvihu vodorovným pohybem čelistí dojde k zakroužení tvaru přes vsunutý trn. Schéma takového nástroje je na obr.34.

Obr.34 Ohýbání zakružováním posuvnými čelistmi



3. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ

Součást závěs dveří je vyráběna z plechu tl. 2,5 mm s jedním ohybem 90°, s okem závěsu o vnitřním ϕ 8,4 mm, se dvěma otvory o ϕ 6 mm a dvěma tvarovými prvky - výřezy v rovné části závěsu. Předepsaný materiál je ocelový plech jakosti dle ČSN 11 373.0, roční výrobní množství je 50 000 ks.

Ze zadaných vstupních údajů je zřejmé, že tato součást je vyráběna tvářením minimálně za použití ohýbacích operací pro vytvoření ohybu ramene o 90° a pro vytvoření oka závěsu a za použití vystřihování pro tvarové prvky. Dílčími netvářecími operacemi může být pouze zhotovení otvorů, a to technologií obrábění – vrtáním, to vše za předpokladu, že součást bude zhotovena z dodaného (nakupovaného) přístřihu o velikosti odpovídající šířce a rozvinuté délce dílce, tj. 40 x 171,5 x 2,5 mm. S ohledem na nutnost výroby dílce ve výrobě, kde jsou k dispozici lisy a tím pádem i tabulové nůžky, se jeví vrtání otvorů a dodávka přístřihů jako neekonomické. Tuto součást lze označit jako jednu z těch, které při zadaném výrobním množství nelze vyrábět jiným způsobem než tvářením.

Je tedy zřejmé, že součást závěs je vyráběna tvářením, přičemž s ohledem na zadaný geometrický tvar a ostatní vstupní podmínky a s přihlédnutím k ekonomické výrobě, neexistuje velká variabilita pro použití různých technologií tváření a sledu jednotlivých operací. V souhrnu se pro výrobu součásti závěs dveří používá technologie stříhání, děrování, rozstřihování a ohýbání. V současné době je závěs dveří vyráběn z přístřihů zhotovovaných na tabulových nůžkách z tabulí plechu. Další operací je vystřihování tvarových prvků a otvorů v přístřihu, poté je proveden ohyb konce oka do tvaru „U“, dohnutí oka klínovým nástrojem a ohyb ramene. Každá operace je prováděna na zvláštním lise – jsou zapotřebí 4 lisy.

3.1. Technologičnost součásti závěs dveří z hlediska stříhání, ohýbání a ohýbání zakružováním

Technologičnost součásti z pohledu stříhání a děrování je dobrá. Jsou respektována tato pravidla technologičnosti:

- a) Stříháním lze dosáhnout předepsané tolerance rozměrů.
- b) Drsnost povrchu střížné plochy u součásti není předepsána, takže vzhled střížné plochy (hloubka plastického stříhu, zkosení střížné hrany) není na závadu.
- c) Otvory jsou kruhové, což je pro stříhání výhodnější než obdélníkové a čtvercové. Jejich průměr 6 mm je větší než obvyklá velikost otvorů při běžném děrování pro tloušťku plechu 2,5 mm; viz. tab.1, kap. 2.1.2. Tvarové prvky mají tvar vhodný pro vystřihování.
- d) Vzdálenost mezi otvory a vzdálenost otvorů od okraje výstřižku je v souladu s doporučením; viz obr.9, kap. 2.1.2. Totéž platí i pro tvarové prvky.
- e) Z obvodu střížné hrany nevyčnívají žádné výstupky.
- f) Z hlediska využití materiálu nemá daná součást plynulé přechody z oblouku do přímých součástí obrysu, takže konstrukce nástrojů toto nemusí zohledňovat a odpad materiálu bude minimalizován pouze na nutný technologický odpad při zastřihávání okrajů tabulí plechu a na odpad při rozstřihování pruhů nepočítaje odpad při děrování otvorů a tvarových prvků.
- g) Při stříhání pruhů na tabulových nůžkách jde o pruhy šířky 40 mm a je splněna podmínka minimální šířka ústřižku > 10 s, tedy $40 \text{ mm} > 10 \cdot 2,5 \text{ mm}$.

To znamená, že i přes uvedené nedokonalosti stříhání lze použít děrování pro zhotovení 2 děr ϕ 6mm. Vrtání děr tedy odpadá.

Technologičnost součásti z pohledu ohýbání je dobrá. Jsou respektována tato pravidla technologičnosti:

- a) Osu ohybu lze bez problémů volit kolmo na směr vláken (aby se nemusel zvětšovat poloměr ohybu).
- b) Při ohybu ramene závěsu je poměr $R_o/s = 2,5/2,5 = 1$; $1 < 6$ jde o ohyb s kalibrací. U předohybu oka závěsu je poměr $R_o/s = 4,2/2,5 = 1,68$; $1,68 < 6$ jde rovněž o ohyb s kalibrací.
- c) Je splněno doporučení týkající se minimální délky ohýbaného ramene $a > 2s$, neboť při ohybu ramene o 90° je délka ramene 31,7 mm $> 2 * 2,5$ mm. Při předohybu oka závěsu do tvaru „U“ je tato podmínka splněna pouze u vnitřního předohybu, kdy délka ramene je 10,5 mm $> 2 * 2,5$ mm. U krajního předohybu tato podmínka splněna není - jde o předhyb pro následné dohnutí.
- d) Je rovněž splněno doporučení týkající se zabránění deformace otvoru při ohýbání dílce $a > 2s$, viz. obr.24, kap. 2.2.3. Nejmenší vzdálenost otvoru od ohybu je 25 mm $> 2 * 2,5$ mm.
Pro zabránění posunutí místa ohybu se použije přidržovač.

Technologičnost součásti z pohledu ohýbání zakružováním

- a) Vnější průměr oka závěsu je 13,4 mm, je splněna podmínka pro ohýbání oka zakružováním: $D < 6,6s$ tj. $6,6 * 2,5 = 16,5$; $13,4 < 16,5$.
- b) Pro předohyb jednoho konce oka závěsu pro následné zakružování je třeba volit min. poloměr předohybu r v rozsahu $r = (0,1-0,2) * D$, tedy v rozsahu 1,34–2,68 mm, s tečnou vyhnutí okraje $25^\circ-45^\circ$.

4. VÝROBA SOUČÁSTI ZÁVĚS DVEŘÍ TVÁŘENÍM

Součást závěs dveří je vyrobena z oceli tloušťky 2,5 mm třídy 11 373.0, materiálový list ČSN 41 1373 (viz. tabulka 6), rozměrová norma ČSN 42 5301, mez pevnosti v tahu $R_m = 360\text{--}510$ MPa, mez kluzu $R_e = 235$ MPa, výchozím polotovarem pro výrobu součástí jsou tabule plechu o rozměru 2,5 x 1000 x 2000 mm nebo svitky ocelového plechu o šířce 40mm, tloušťky 2,5 mm, hmotnosti cca 350 kg; roční produkce je stanovena na 50 000 kusů. Výkres součásti je na obr.1.

Tvar, rozměry, materiál a počet vyrobených kusů za rok vybízejí k tomu, aby byla použita pouze výrobní technologie plošného tváření, konkrétně stříhání, děrování a rozstřihování a ohýbání.

Tab.6 Materiálový list materiálu 11 373.0

Výrobek	tenké plechy			
Provedení	válcováno za tepla			
Povrch	okujený nebo mořený			
Rozměrová norma	ČSN 42 5301 ČSN 42 5308			
Technické dodací předpisy	ČSN EN 10025 ČSN 42 0118 ČSN 42 0208			
Označení materiálu a stavu	11 373.1			
Stav	normalizačně žíhaný ¹⁾ ²⁾			
Tloušťka mm	1,5	nad 1,5 do 2,0	nad 2,0 do 2,5	nad 2,5 pod 3,0
Nejnižší mez kluzu R_{eH} MPa	235			
Pevnost v tahu R_m MPa	360 až 510			
Nejnižší tažnost A_{80} napříč %	16	17	18	19
¹⁾ Po dohodě lze plechy dodávat ve stavu tepelně nezpracovaném. ²⁾ Doporučená teplota normalizačního žíhání je 900 až 930 °C.				

4.1. Posouzení technologických postupů výroby – rozbor

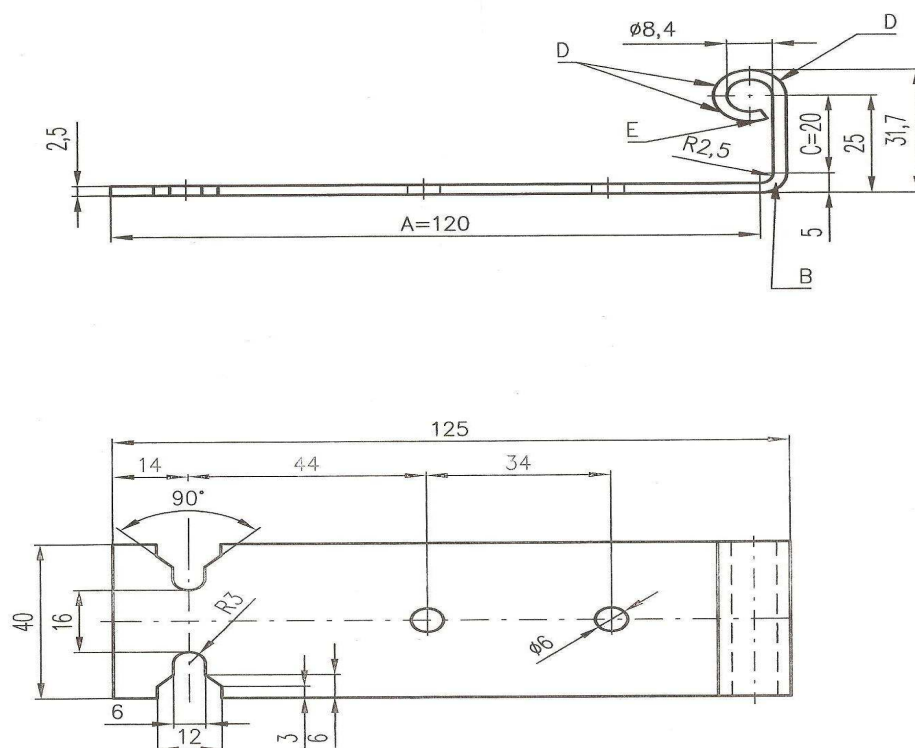
Na zadané součásti závěs dveří se vyskytují tyto tvarové prvky a ohyby jež je nutné zhotovit a to v posloupnosti dané jejich vyrobiteľností, s ohledem na počet vyráběných kusů za rok a s ohledem na složitost (minimalizaci nákladů) nástrojů:

- vystřížení tvaru rozvinuté délky 171,5 mm x 40 mm
- dva otvory ϕ 6 mm
- dva boční tvarové výseky s max. šířkou 12 mm

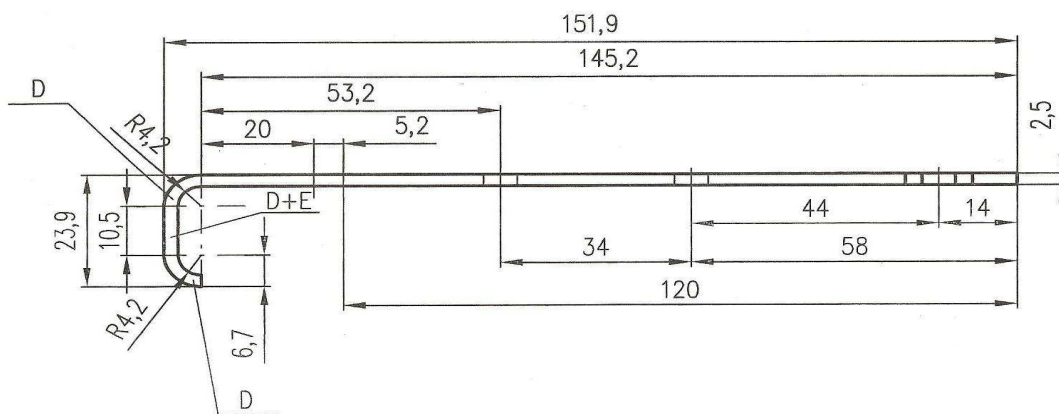
- ohyb oka závěsu o vnitřním průměru 8,4 mm a vnějším průměru 13,4 mm
- ohyb ramene závěsu o 90°

Pro konkretizaci rozboru technologického postupu výroby je nutné nejdříve stanovit rozvinutou délku součásti a délky příslušných ramen ohybů – viz. obr.35 – tvar součásti závěsu, obr.36 – tvar předohybu oka závěsu a obr.37 – tvar ohybu oka závěsu.

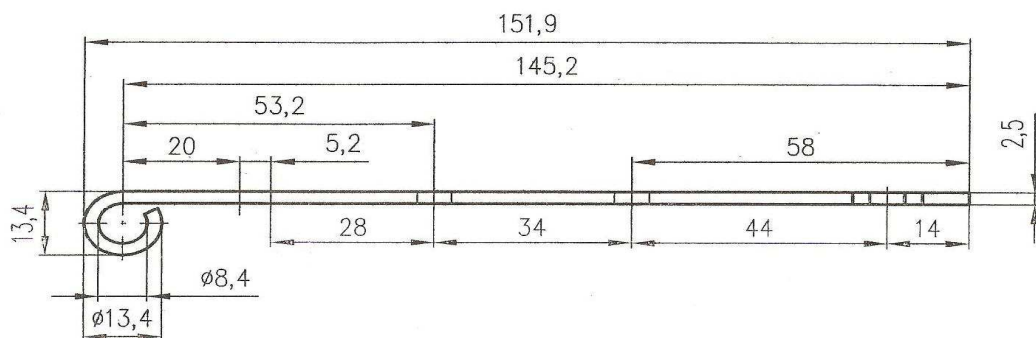
Obr.35 Tvar součásti závěsu



Obr.36 Tvar předhybu oka závěsu



Obr.37 Tvar ohybu oka závěsu



Výpočet rozvinuté délky součásti

Pro výpočet rozvinuté délky je použito vstupních hodnot z výše citovaných obr.35, 36 a 37 a vztahů pro výpočet rozvinuté délky (6), (7).

Délka oblouku ohýbané součásti se dle ČSN 01 7009 vypočte dle:

$$L_o = 0,01745 * (R + 1/3 * s) * (180 - \alpha) \quad [\text{mm}]$$

kde:

α – úhel ohybu [°]

R – vnitřní poloměr ohybu [mm]

Délka úseku B: R = 2,5 mm, s = 2,5 mm, $\alpha = 90^\circ$

$$L_B = 0,01745 * (2,5 + 1/3 * 2,5) * (180 - 90) = 5,2 \text{ mm}$$

Délka úseku D: R = 4,2 mm, s = 2,5 mm, $\alpha = 90^\circ$

$$L_D = 0,01745 * (4,2 + 1/3 * 2,5) * (180 - 90) = 7,9 \text{ mm}$$

Délka úseku E: R = 4,2 mm, s = 2,5 mm, $\alpha = 150^\circ$

$$L_E = 0,01745 * (4,2 + 1/3 * 2,5) * (180 - 150) = 2,6 \text{ mm}$$

Celková délka rozvinutého dílu je pak:

$$L_C = A + L_B + C + 3 * L_D + L_E = 120 + 5,2 + 20 + 3 * 7,9 + 2,6 = 171,5 \text{ mm}$$

Možné dílčí technologie

A. Stříhání na tabulových nůžkách, resp. na tvářecí lince

Výchozí polotovár: tabule plechu o rozměru 2000 x 1000 x 2,5 mm, hmotnost 39 kg.

A1: Dělení (stříhání) tabulí plechu na tabulových nůžkách na pruhy rozměru 40 x 2000 mm, polotovarem pro navazující tg. operaci je pak pruh plechu. Výhodou tohoto způsobu je při daných rozměrech pruhů a počtu vyráběných kusů součástí závěs dveří za rok následné efektivnější zpracování pruhů délky 2000 mm.

A2: Podélné a příčné dělení tabulí na tabulových nůžkách na přístřihy o rozměru 40 x 171,5 mm, polotovarem pro další zpracování jsou pak přístřihy. Výhodou tohoto způsobu je výroba přístřihů na jednom pracovišti přímo v dělárně materiálu, nevýhodou při dalším zpracování je nutnost ručního zakládání jednotlivých přístřihů do nástroje lisu, což zvýší pracnost výroby.

Výchozí polotovar alternativně: svitek plechu o šířce 40 mm, hmotnost svitku dle dodavatele cca 350 kg

- B.** Zpracování svitku plechu na tvářecí lince ve složení odvíječka svitku, rovnačka plechu, podavač, výstředníkový lis s postupovým nástrojem pro operace děrování dvou bočních výseků, děrování dvou otvorů závěsu a rozstřihávání svitku na rozvinutou délku závěsu, tj. na 171,5 mm. Výliskem je vyděrovaný polotovar s bočními výseky o rozměrech 40 x 171,5 mm určený již pro navazující operace ohýbání. Výhodou tohoto způsobu je vysoká produktivita práce na tvářecí lince s kapacitou cca 40 ks/min, na jeden zdvih beranu lisu je vylisován polotovar pro následné ohýbání, nevýhodou je drahé strojní zařízení a drahý postupový nástroj. Limitující pro tento způsob je daný počet kusů součásti/rok – pro 50 000 ks/rok by se jednalo o zpracování cca 20 ks svitků o hmotnosti 350 kg, vlastní výroba takových polotovarů by trvala cca 6–7 směn provozu linky.

Z výše uvedeného vyplývá, že vstupním materiálem pro dané výrobní množství budou tabule plechu.

- C.** Děrování, stříhání na výstředníkovém lise

Výchozím polotovarem může být buď pruh (**C1**) nebo přístřih plechu (**C2**).

Z hlediska posloupnosti operací a efektivní výroby daného ročního množství dílu závěs dveří je potřeba na jednom strojním zařízení zhotovit děrováním dva otvory průměru 6 mm a dva boční výseky a v případě zpracování pruhů rozstříhnout pruh na délku 171,5 mm. To lze zhotovit na výstředníkovém lise – v případě výchozího polotovaru pruhu v postupovém nástroji (děrování a rozstřihování), v případě zpracování přístřihu děrováním na jednoduchém děrovačce. Přes to, že postupový nástroj pro pruhy bude nákladnější než jednoduché děrovačce pro přístřihy, pracnost při zpracování pruhů bude výhodnější.

Z výše uvedeného vyplývá, že výchozím polotovarem pro děrování budou pruhové plechy, tedy varianta A1 a bude použit postupový nástroj pro děrování, vystřihování a rozstřihování, tedy varianta C1.

- D.** Ohýbání

Výchozím polotovarem pro ohýbání je vyděrovaný přístřih 40 x 171,5 mm s vystřiženými bočními tvarovými výseky. Operacemi ohýbání je nutno vytvořit vlastní oko závěsu a ohyb ramene o 90°. Technologický postup pro tyto ohýbací operace je buď:

D1: V první ohýbací operaci ohnout rameno závěsu o 90° v ohýbacím nástroji „V“ (D1/a) a následně pomocí předohybu a dohnutí vytvarovat vlastní oko závěsu.

Pro výrobu oka závěsu jsou možné dva technologické způsoby ohýbání a to vždy s předohybem:

Buď s jedním předohybem konce oka závěsu (D1/b1) a následným zakroužením oka v zakružovacím nástroji (D1/c1). Předohyb konce oka je možno zhotovit v jednoduchém ohýbacím nástroji, zakroužení oka v zakružovacím nástroji s vodorovným pohybem

ohýbací čelisti, kdy polotovár – výlisek tvaru „U“ je fixován přidržovačem. S ohledem na již v předchozí operaci provedený ohyb ramene závěsu o 90° je možná činná plocha pro přidržovač pouze na max. šířce cca 13 mm, což považuji za nedostatečné.

Nebo se dvěma předohyby – začátku a konce oka závěsu (D1/b2) s následným dohnutím oka (D1/c2) v zakružovacím nástroji. Dva předohyby oka závěsu s ohledem na již provedený ohyb ramene vyžadují uzavřený ohyb do tvaru „C“, tedy použití klínového nástroje – jeví se jako neekonomické. Rovněž pro dohnutí oka by bylo potřeba klínového nástroje nebo složitějšího ohýbacího nástroje s ohledem na prostor mezi okem závěsu a již ohnutým ramenem závěsu.

Nebo:

D2: V prvních ohýbacích operacích zhotovit oko závěsu a potom ohnout rameno závěsu o 90° .

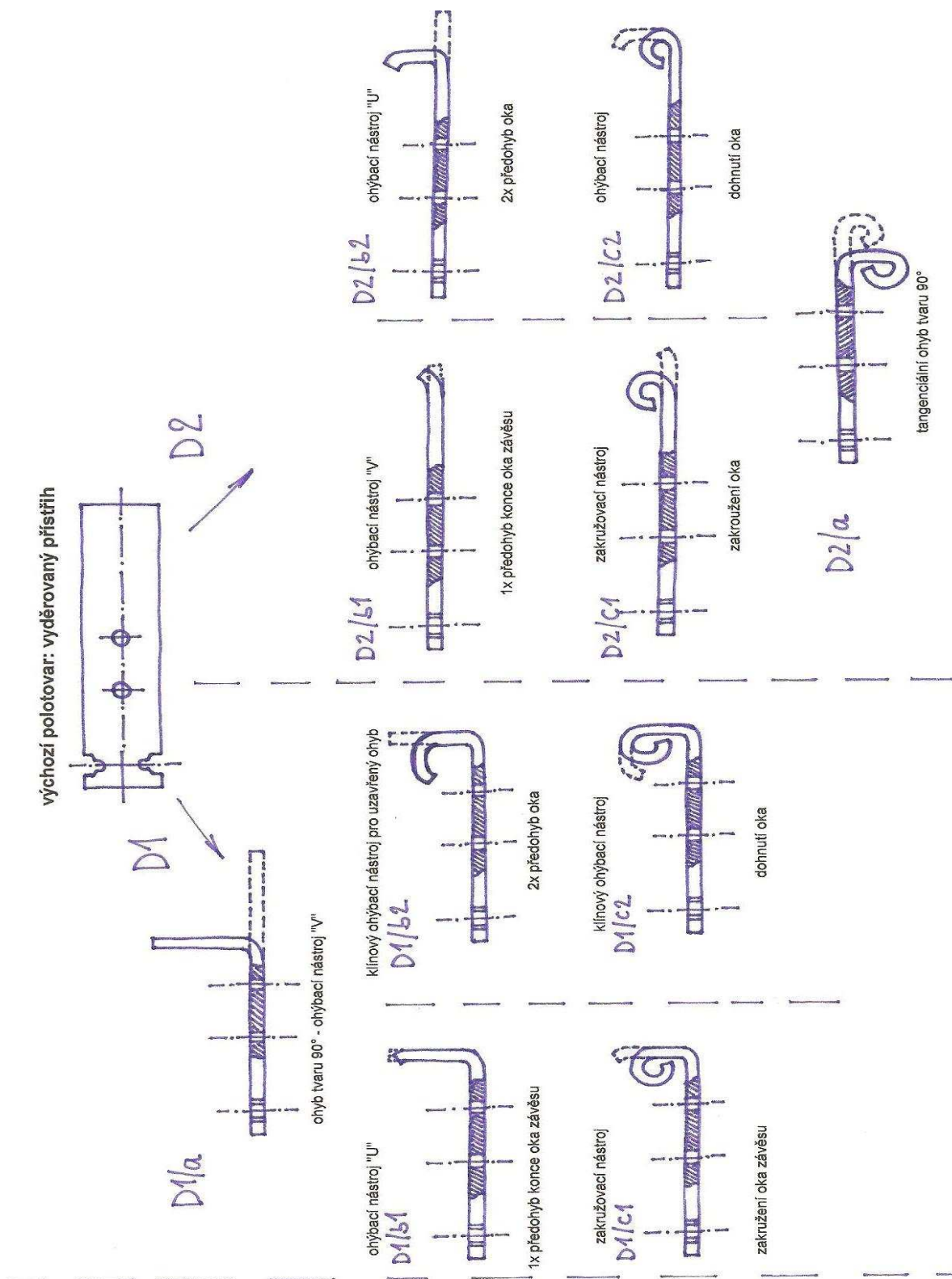
I v tomto případě lze oko závěsu zhotovit buď s jedním předohybem (D2/b1) – jednoduchý nástroj s následným zakroužením v zakružovacím nástroji (D2/c1) nebo se dvěma předohyby – jednoduchý nástroj tvaru „U“ (D2/b2) s dohnutím oka jednoduchým zakružovacím nástrojem (D2/c2). Z hlediska zaručeného rovnoměrného zakroužení oka jsou vhodnější dva předohyby oka závěsu.

Po vytvoření oka závěsu se konečný tvar závěsu – ohyb ramene 90° provede snadno tangenciálním ohybem (D2/a).

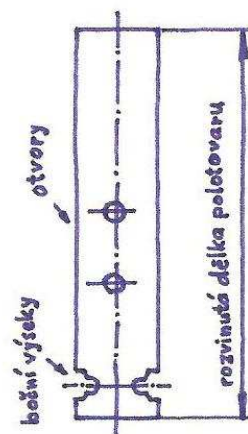
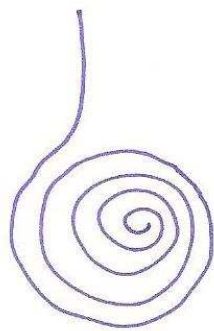
Z rozboru možných ohýbacích operací a jejich posloupnosti jsem vyloučil variantu, kdy se nejdříve ohne rameno závěsu a variantu s jedním předohybem konce oka závěsu.

Pro ohýbání tedy volím variantu D2/b2 + D2/c2 + D2/a – viz. tab.7 Možné způsoby výroby závěsu dveří.

D. ohýbání ramene závěsu o 90° a oka závěsu – výstřih



výchozí polotovar: svitek plechu



děrování otvorů, bočních výseků a dělení na přístihy v jednom nástroji

5. NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI ZÁVĚS DVEŘÍ

S ohledem na výše uvedený rozbor možností výroby jsem zvolil pro výrobu závěsu dveří následující technologický postup:

1. operace: Stříhání tabule plechu na pruhy 2,5 x 40 x 2000 mm na tabulových nůžkách
2. operace: Děrování otvorů $\Phi 6$ mm, děrování bočních tvarových prvků a rozstřížení pruhu na rozvinutou délku 171,5 mm v postupovém nástroji
3. operace: Předohyb tvaru oka závěsu dveří v ohýbacím nástroji
4. operace: Ohyb oka závěsu v zakružovacím nástroji
5. operace: Ohyb ramene závěsu o 90° v ohýbadle

1. operace – stříhání tabulí plechu na tabulových nůžkách

Výchozí rozměr tabule 2000 x 1000 x 2,5 mm, hmotnost tabule 39 kg

Šířka pruhu (šířka součásti): 40 mm

Rozvinutá délka součásti: 171,5 mm, (+ šířka dělicího nože 6 mm)

Hmotnost přístřihu 40 x 171,5 x 2,5 mm je 0,13377 kg

Stříhání tabule plechu spočívá v:

- 2 x zastřížení okraje tabule po délce 2000 mm – šířka zastřížení 20 mm (ústřížek se může deformovat neboť $20 < 10 * 2,5$, ale jde o odpad)
- 1 x zastřížení okraje tabule po délce 1000 mm – šířka ústřížku 20 mm
- stříhání pruhů po délce 2000 mm – 24 ks pruhů o rozměru 40 x 1980 x 2,5 mm

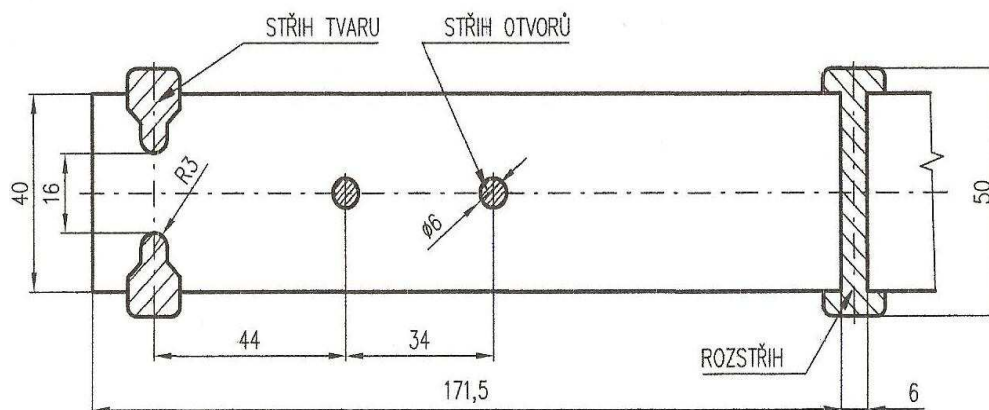
Pro následné zpracování pruhů v postupovém nástroji lze z jednoho pruhu zhotovit 11 ks vyděrovaných přístřihů, kdy po rozstřížení posledního kusu činí zbylý odpad 27,5 mm. Celkové množství vstupního materiálu je pak: $50\,000 / (24 * 11) = 189,39 = 190$ ks tabulí plechu o celkové hmotnosti 7410 kg.

2. operace – děrování otvorů průměru 6 mm, děrování bočních tvarových prvků a rozstřížení pruhu na rozvinutou délku 171,5 mm v postupovém nástroji

Postup stříhu v postupovém nástroji je uveden na obr.38.

Obr.38

POSTUP STŘIHU V POSTUP.NÁSTROJI



Výpočet střižných sil pro tvarové boční výseky a otvory o průměru 6 mm

Pro výpočet střižné síly je nutné nejdříve určit celkovou délku stříhu:

1) délka stříhu tvarových otvorů:

$$L_{tv} = [(\pi * 3) + 2 * (3 + 3 + 4,24)] * 2 = 59,8 \text{ mm}$$

2) délka stříhu otvorů průměru 6 mm:

$$L_{ot} = \pi * D * 2 = \pi * 6 * 2 = 37,7 \text{ mm}$$

3) délka přestřižení:

$$L_{dt} = 40 + 40 = 80 \text{ mm}$$

Celková délka stříhu

$$L = L_{tv} + L_{ot} + L_{dt} = 59,8 + 37,7 + 80 = 177,5 \text{ mm}$$

Střižná síla

Pro výpočet je použit vztah (2), (3), (4), (5).

$$\tau_{ps} = 107,9 + 0,56 * R_m \text{ [MPa]}$$

$$F_s = n * L * s * \tau_{ps} \text{ [N]}$$

$$F_{stír} = c * F_s \text{ [N]}$$

$$F_c = F_s + F_{stír} \text{ [N]}$$

kde:

$n = 1,2$	koeficient zahrnující vliv vnějších podmínek při stříhání
$L = 177,5 \text{ mm}$	délka křivky stříhu
$\tau_{ps} = 360 \text{ MPa}$	pevnost ve stříhu
$R_m = 450 \text{ MPa}$	pevnost v tahu
$s = 2,5 \text{ mm}$	tloušťka plechu
$c = 0,1$	koeficient

Mez pevnosti ve stříhu je:

$$\tau_{ps} = 107,9 + 0,56 * R_m = 107,9 + 0,56 * 450 = 360 \text{ MPa}$$

po dosazení:

$$F_s = 1,2 * 177,5 * 2,5 * 360 = 191\,700 \text{ N}$$

$$F_{stír} = 0,1 * 191\,700 = 19\,170 \text{ N}$$

$$F_c = 191\,700 + 19\,170 = \mathbf{210\,870 \text{ N}}$$

3. operace – předohyb tvaru oka závěsu v ohýbacím nástroji

Tvar předohybu oka závěsu je na obr.36.

Výpočet síly pro předohyb oka závěsu dle vztahu (10):

$$F_{ou} = (0,4 * R_m * s^2 * b) / l_m \quad [N]$$

kde:

b = 80 mm	součet šířek ohybů
s = 2,5 mm	tloušťka plechu
R _m = 450 MPa	pevnost materiálu v ohybu
l _m = 13,4 mm	rameno ohybu

Velikost ramene ohybu l_m je v závislosti na tloušťce plechu a radiusech pevné a pohyblivé ohýbací čelisti dána vztahem (11):

$$l_m = 1,2s + R_1 + R_2 = 1,2 * 2,5 + 4,2 + 6,7 = 13,4 \text{ mm}$$

kde:

R ₁ = 6,7 mm	poloměr zaoblení pevné čelisti
R ₂ = 4,2 mm	poloměr zaoblení pohyblivé čelisti

Po dosazení:

$$F_{ou} = (0,4 * 450 * 2,5^2 * 80) / 13,4 = \mathbf{6\,716\,N}$$

Tento výpočet ohýbací síly platí pro ohýbání bez přidržovače. Při ohýbání s přidržovačem je nutno ohýbací sílu zvětšit o sílu přidržovače F_p (přidrřovač slouží současně jako vyhazovač), kdy dle (12):

$$F_p = 0,3 * F_{ou} = 0,3 * 6\,716 = \mathbf{2\,015\,N}$$

Při ohýbání s kalibrací je nutno počítat s celkovou silou dle (13)

$$F_{cu} = 3 * (F_{ou} + F_p) = 3 * (6\,716 + 2\,015) = \mathbf{26\,193\,N}$$

4. operace – ohyb oka závěsu v zakružovacím nástroji

Tvar ohybu oka závěsu je na obr.37

Výpočet ohýbací síly pro ohyb oka závěsu dle vztahu (16).

$$F = (b * s^2 * \sigma_g * \lambda) / (6 * \nu * \rho) \quad [N]$$

kde:

s = 2,5 mm	tloušťka materiálu
b = 40 mm	šířka materiálu
σ _g = 800 MPa	náhradní ohybové napětí

$\lambda = 0,9$	součinitel
$\nu = 0,8$	součinitel účinnosti procesu
$\rho = 5,1 \text{ mm}$	poloměr neutrální osy

Náhradní ohybové napětí σ_g a součinitel λ se určí z diagramu v závislosti na relativním zakřivení dané vztahem $s/(2 * \rho)$. Diagram ohýbání pro plech válcovaný za studena s $R_m = 460 \text{ MPa}$ je uveden na obr.28.

Součinitel účinnosti ν zahrnuje ztráty třením při zakružování a dle praktických zkušeností má hodnotu 0,8.

Stanovení poloměru neutrální osy ρ dle vztahu (6):

$$\rho = R_o + (x * s) = 4,2 + (1/3 * 2,5) = 5,1 \text{ mm}$$

kde:

$R_o = 4,2 \text{ mm}$	vnitřní poloměr ohybu
$x = 1/3$	součinitel dle ČSN 01 7009

Pro $s/(2 * \rho) = 2,5/(2 * 5,1) = 0,245$ jsou: $\sigma_g = 800 \text{ MPa}$, $\lambda = 0,9$

Po dosazení:

$$F = (40 * 2,5^2 * 800 * 0,9)/(6 * 0,8 * 5,1) = \mathbf{7\ 353\ N}$$

Síla přidržovací:

$$F_p = 0,3 * F = 0,3 * 7\ 353 = \mathbf{2\ 206\ N}$$

Celková síla pro volbu lisu je zvýšena o 50%:

$$F_c = 1,5 * (F + F_p) = 1,5 * (7\ 353 + 2\ 206) = \mathbf{14\ 339\ N}$$

5. operace – ohyb ramene závěsu o 90° v ohýbadle

Výpočet ohýbací síly pro ohyb ramene o 90° dle vztahu (10):

$$F_{ou} = (0,4 * R_m * s^2 * b)/l_m \quad [\text{N}]$$

kde:

$b = 40 \text{ mm}$	součet šířek ohybu
$s = 2,5 \text{ mm}$	tloušťka plechu
$R_m = 450 \text{ MPa}$	pevnost materiálu v tahu
$l_m = 8,5 \text{ mm}$	rameno ohybu

Stanovení velikosti ramene ohybu dle vztahu (11):

$$l_m = 1,2s + R_1 + R_2 = 1,2 * 2,5 + 3,0 + 3 = 8,5 \text{ mm}$$

kde:

$R_1 = 2,5 \text{ mm}$	poloměr zaoblení pevné čelisti
$R_2 = 3,0 \text{ mm}$	poloměr zaoblení pohyblivé čelisti

Po dosazení:

$$F_{ou} = (0,4 * 450 * 2,5^2 * 40) / 8,5 = \mathbf{5\ 294\ N}$$

Síla pro vyrovnání ramene dle vztahu (9):

$$F_v = S * p = b * l * p \quad [\text{N}]$$

kde:

$b = 40 \text{ mm}$	šířka ohybu
$l = 20 \text{ mm}$	rameno
$p = 100 \text{ MPa}$	měrný tlak pro $s < 3 \text{ mm}$ a $R_m = 450 \text{ MPa}$

po dosazení:

$$F_v = 40 * 20 * 100 = \mathbf{80\ 000\ N}$$

Síla pro ohyb ramene:

$$F_o = (F_{ou} + F_v) = (5\ 294 + 80\ 000) = \mathbf{85\ 294\ N}$$

Síla přidržovací dle vztahu (12):

$$F_p = 0,3 * F_o = 0,3 * 85\ 294 = \mathbf{25\ 588\ N}$$

Celková síla pro volbu lisu:

$$F_c = (F_o + F_p) = (85\ 294 + 25\ 588) = \mathbf{110\ 882\ N}$$

6. NÁSTROJE

Zde je navržena koncepce a skladba nástrojů vč. návrhu materiálu hlavních dílů nástrojů, a to pro: 2. operaci – postupový nástroj pro děrování a rozstřihování

3. operaci – ohýbací nástroj pro předohyb tvaru oka závěsu

Zakružovací nástroj pro ohyb oka závěsu, tj. nástroj pro 4. operaci dle navrženého technologického postupu je zpracován jako konstrukční návrh včetně detailů a je uveden v kap. 6.1.

Nástroj pro ohyb ramene závěsu, tj. nástroj pro 5. operaci je zpracován jako ideový návrh a je uveden v kap. 6.2.

2. operace – postupový nástroj pro děrování a rozstřihování.

Koncepce postupového nástroje

Nástroj je koncipován jako běžný postupový nástroj se dvěma vodícími sloupky, vodícími pouzdry, vodícími lištami, načínacím dorazem a hledáčky pro zapolohování pozice pásu v dalším kroku do dvou vystřižených otvorů ϕ 6 mm. Nástroj je upnut v beranu pomocí stopky. Spodní část nástroje je upnuta na stolní desku lisu pomocí šroubů do „T“ matic umístěných v „T“ drážkách stolní desky. V základové desce nástroje je zhotoven propadový otvor pro propad odpadu pod lis. Jednotlivé desky horní i spodní části nástroje jsou sešroubovány a zkolíkovány. Načínací doraz je umístěn ve vybraní vodící lišty. Střížníky a hledáčky jsou zapolohovány v kotevní desce pomocí šroubů procházejících do upínací desky.

Skladba nástroje

A. horní část nástroje je tvořena:

▪ upínací deskou se stopkou	mat. tř. 11
▪ opěrnou deskou	mat. tř. 12 – zušlechtěno
▪ kotevní deskou	mat. tř. 11
▪ střížníky	mat. tř. 19 – kaleno a popuštěno
▪ hledáčky	mat. tř. 14 – cementováno a kaleno
▪ vodícími pouzdry	mat. tř. 14 – cementováno a kaleno

B. spodní část nástroje je tvořena:

• základovou deskou	mat. tř. 11
• střížnicí	mat. tř. 19 – kaleno a popuštěno
• vodící deskou	mat. tř. 11
• vodícími lištami	mat. tř. 12 – zušlechtěno
• načínacím dorazem	mat. tř. 12 – cementováno a kaleno
• vodícími sloupky	mat. tř. 14 – cementováno a kaleno

Postup činnosti nástroje

Pruh plechu šířky 40 mm je zaveden zprava mezi vodící lišty nástroje až na načínací doraz. Pomocí dvou tvarových střížníků a dvou střížníků ϕ 6 mm je provedeno vystřižení těchto otvorů. Potom se načínací doraz odsune a pruh se posune o daný krok a pomocí hledáček se provede nastředění na vystřižené otvory. Zároveň jsou znovu vystřiženy další tvarové otvory a dva otvory ϕ 6 mm a provedeno přestřižení pruhu plechu pomocí rozstřihovacího nože o šířce 6mm. Tento cyklus se opakuje až do doby kdy je rozstřihána celá délka pruhu. Poté je vyjmut zbylý odpad pruhu a založen nový pruh.

3. operace – ohýbací nástroj pro předohyb tvaru oka

Koncepce ohýbacího nástroje

Jedná se ohýbací nástroj do tvaru „U“ se spodním přidržovačem ovládaným zabudovaným přidržovačem v lisu, s vodícími sloupky a pouzdry, polohovacími lištami pro ustavení přístřihu plechu, horní pohyblivou čelistí se stěračem a dolní pevnou čelistí odpovídajícího tvaru a s odpovídajícími rádiusy zaoblení. Při vlastní konstrukci nástroje je nutno zohlednit délku ohnutého ramene polotovaru o velikosti 151,9 mm. Nástroj je upnut v beranu pomocí stopky. Spodní část nástroje je upnuta na stolní desku lisu pomocí šroubů do „T“ matic umístěných v „T“ drážkách stolní desky.

Skladba nástroje

Skladba nástroje je obdobná jako u nástroje pro ohyb oka závěsu – viz. dále, s rozdílným tvarem ohýbacích čelistí. Použité materiály na jednotlivé díly nástroje jsou obdobné.

Postup činnosti nástroje

Vyděrovaný přístřih plechu je založen do rozevřeného nástroje s přidržovačem v horní poloze a polohován dorazem a vodícími lištami v pevné čelisti. Pohybem horní části nástroje dosedne pohyblivá čelist na přidržovač, dojde k sevření přístřihu a v další části zdvihu k vytvoření „U“ ohybu s jedním ramenem o délce 151,9 mm. Při zpětném pohybu horní části nástroje je vysouván výlisek spodním přidržovačem do zakládací polohy za současného působení stěrače jenž setře výlisek z horní čelisti nástroje.

6.1. Konstrukční návrh nástroje pro ohyb oka závěsu

Viz. Seznam výkresů, Ohybadlo závěsu, č. výkresu VUT – OHZ – 00 – 00

Koncepce zakružovacího nástroje

Pro zakružování oka závěsu je zvolen zakružovací nástroj, jehož schéma je na obr.30, tj. zakroužení tvaru oka s předem vytvořenými dvěma předohyby.

Nástroj je koncipován se dvěma vodícími sloupky a pouzdry, s přidržovačem ovládaným zabudovaným přidržovačem v lise, hledáčky pro ustavení přístřihu na vyděrované otvory Φ 6mm, dělenou pevnou čelistí s držáky, pohyblivou čelistí a dorazem.

Horní část nástroje tvoří upínací deska se stopkou a k ní je přišroubována a zkolíkována pohyblivá čelist, kde její funkční část má vybrání odpovídající části tvaru oka závěsu. Část pohyblivé čelisti slouží jako dorazová plocha pro vymezení velikosti zdvihu.

Spodní část nástroje tvoří základová deska s podložkou, ke které jsou přišroubovány dva díly pevné čelisti, kde funkční část jednoho dílu je opatřena tvarovou dutinou odpovídající tvaru oka. Oba díly pevné čelisti jsou spojeny dvěma držáky a celek tak vytváří vedení přidržovače umístěného mezi dvěma pevnými čelistmi a jejich držáky. Pohyb přidržovače je přes kolíky procházející základovou deskou nad otvor ve stole lisu, kde je instalován spodní přidržovač. V přidržovači nástroje jsou umístěny dva hledáčky pro vystředění polohy předohnutého přístřihu na otvory Φ 6 mm. K základové desce je přišroubován i doraz.

Nástroj je upnut v beranu pomocí stopky. Spodní část nástroje je upnuta na stolní desku lisu pomocí šroubů do „T“ matic umístěných v „T“ drážkách stolní desky.

Skladba nástroje a použité materiály je uvedena v kusovníku na výkrese č. VUT – OHZ – 00 – 00.

Postup činnosti nástroje

Výchozí polotovar – předohnutý a vyděrovaný plech je založen zprava do rozevřeného nástroje s vysunutým přidržovačem (poz. 4), doražen na pevnou čelist (poz. 8) a zapolohován pomocí dvou hledáček (poz. 15) na vystřižené otvory Φ 6 mm. Přidržovač je vysunut pomocí tří kolíků (poz. 15) zabudovaným přidržovačem v lise. Pohybem horní části nástroje sjíždí pohyblivá čelist (poz. 9) dolů až dosednou na vložený polotovar. Dojde k sevření polotovaru mezi horní čelistí nástroje a přidržovačem, v další části zdvihu dochází k zakroužení sevřeného polotovaru do dutiny pevné čelisti do doby až dosedne dorazová část pohyblivé čelisti (poz. 10) na doraz (poz. 16). Výškové ustavení dorazu se provede po odzkoušení velikosti zdvihu nástroje buď podložením nebo zbroušením. Při zpětném pohybu horní části nástroje je přidržovačem vysouván ohnutý díl do zakládací polohy.

6.2. Návrh nástroje pro ohyb ramene závěsu

Viz. Seznam výkresů, Ohyb ramene závěsu

Koncepce ohýbacího nástroje

Pro ohyb ramene závěsu o 90° je zvolen koncepčně 1/2 nástroje pro ohyb do tvaru „U“.

Nástroj je koncipován se dvěma vodícími sloupky a pouzdry, s horním přidržovačem s polyuretanovou pružinou, s hledáčky a s dorazem pro ustavení polohy polotovaru, s jednoduchou horní pohyblivou ohýbací čelistí a spodní pevnou ohýbací čelistí s vybráním pro oko. Čelní doraz zároveň slouží i jako čelní vedení ohybníku.

Horní část nástroje je tvořena upínací deskou, ke které je přišroubována horní ohýbací čelist a polyuretanová pružina s přidržovačem.

Spodní část nástroje tvoří základová deska s ohybnicí s vybráním, která je opatřena dvěma hledáčky pro vystředění polotovaru na dva otvory Φ 6 mm. K základové desce je přišroubován i čelní doraz jako vedení ohýbací čelisti a usnadňující zakládání polotovaru.

Postup činnosti nástroje

Výchozí polotovar – plech se zakrouženým okem je založen na čelní doraz a ustaven na dva hledáčky na otvory Φ 6 mm. Nástroj sjede přidržovačem na vložený plech, přidržovací síla je vyvozena přes polyuretan a v další části zdvihu dochází pomocí ohybníku přes hranu ohybnice k ohybu ramene závěsu o 90°, kdy oko zajíždí do vybrání v ohybnici.

7. NÁVRH STROJNÍHO ZAŘÍZENÍ

Hlavním parametrem pro volbu tabulových nůžek je rozměr výchozí tabule plechu a jeho tloušťka. Pro stříhání tabulí plechu jsou s ohledem na rozměr tabulí a tloušťku plechu zvoleny mechanické tabulové nůžky NTC 2000/4 popřípadě NTC 2000/2,5. Stříhaný plech pro závěs má tl. 2,5 mm a tak z důvodu rezervy stroje jsou vhodnější nůžky pro stříhání plechu tloušťky nejbližší vyšší.

Základní technické parametry nůžek NTC 2000/4 a NTC 2000/2,5

Tab.8 Technické parametry nůžek

Základní technické parametry nůžek	NTC 2000/4	NTC 2000/2,5
Délka stříhu	2050 mm	2040 mm
Max. tl. plechu při pevnosti 500MPa	4 mm	2,5 mm
Úhel mezi noži	1° 20'	1°
Počet zdvihů střížné traverzy	60 min ⁻¹	75 min ⁻¹
Vyložení	200 mm	160 mm
Průchod mezi bočnicemi stojanu	2100 mm	2100 mm
Rozsah přestavitelnosti zadního dorazu	4–750 mm	2,5–750 mm
Výkon hl.motoru	4 kW	3 kW
Rozměry nůžek (L x Š)	2650 x 1600 mm	2600 x 1600 mm
Pracovní výška	900 mm	900 mm
Hmotnost stroje	4200 kg	2400 kg

Pro ostatní tvářecí operace dle navrženého technologického postupu, tj. pro operaci děrování a rozstřihování, pro předohyb oka závěsu, pro zakroužení oka závěsu a pro ohyb ramene závěsu jsou navrženy osvědčené a v současnosti stále nejvíce používané lisy v čs. lisovnách – výstředníkové lisy z produkce TOMA Trnava.

Návrh lisů je posuzován z hlediska hlavních parametrů lisů:

- jmenovitá síla
- sevření
- velikost zdvihu
- rozměr upínací plochy stolu

ve vztahu k vypočteným hodnotám tvářecích sil pro jednotlivé operace a k rozměrům nástrojů dle jejich návrhu, tj. k rozměru základové desky, stavební výšky v rozevřeném stavu a velikosti potřebného zdvihu.

Volba velikosti lisů pro jednotlivé operace:

2. operace – děrování a rozstřihování v postupovém nástroji:

Vypočtená střížná síla je 210870 N. Parametricky nejbližší výstředníkový lis je o jmenovité síle 250 kN, jeho další hlavní parametry z hlediska nástroje – sevření, zdvih, plocha stolu jsou pro postupový nástroj dostačující.

3. operace – předhyb oka závěsu v ohýbacím nástroji do tvaru „U“:

Vypočtená síla pro volbu lisu je 26193 N. Pro tuto operaci by silově vyhovoval výstředníkový lis o jmenovité tvářecí síle 63 kN. Nástroj pro předohyb je koncepčně navržen jako klasické ohýbadlo do „U“, kdy jedno rameno po ohybu má výšku 152 mm. Konstrukční

rozevřená výška nástroje se předpokládá cca. min. 240–260 mm. S ohledem na parametr sevření lisu je volen výstředníkový lis o jm. síle 250 kN.

4. operace – zakružování oka závěsu:

Vypočtená ohýbací síla pro volbu lisu je 14339 N. Z konstrukce nástroje vyplývá jeho rozevřená výška 269 mm. S ohledem na velikost parametru lisu sevření je nutno zvolit výstředníkový lis o jm. síle 400 kN.

5. operace – ohyb ramene závěsu:

Vypočtená ohýbací síla včetně kalibrace pro volbu lisu je 110882 N. Ideový návrh nástroje má rozevřenou výšku 253 mm. Z hlediska silového a s ohledem na sevření lisu je volen výstředníkový lis o jm. síle 250 kN.

Protože se jedná o zpracování kusových polotovarů – jednotlivé zakládání a vyjímání po každém zdvihu lisu – vyjma 2. operace, kdy se zpracovává pruh plechu – jsou voleny lisy pomaloběžné, naklápěcí řady LEN P.

Konkrétně se jedná o typ LEN 25P a LEN 40P výstředníkový lis naklápěcí pomaloběžný.

Tyto lisy jsou určeny pro stříhání, ohýbání, mělké tažení a rovnání. Naklonění lisu umožňuje samočinné vypadávání výlisků. Jedná se o lisy jednobodové, jednočinné s nastavitelným zdvihem beranu s průchodem ve stojanu tvaru C. Zdvih beranu se nastavuje ručně přestavením výstředníkového pouzdra. Vzdálenost beranu od stolu (sevření lisu) se seřizuje otáčením kulového šroubu v ojnici. Spouštění lisu je dvouruční – tlačítky nebo nožní – šlapkou. Chod beranu lze nastavit na jednotlivé zdvihy nebo trvalý chod, pro seřizování nástrojů je umožněno tipování, tj. chod beranu po přítržích.

Základní technické parametry lisů LEN 25P a LEN 40P

Tab.9 Technické parametry lisů

Základní technické parametry lisů	LEN 25P	LEN 40P
Jmenovitá síla	250 kN	400 kN
Pracovní dráha (dle velikosti zdvihu)	0,54–6,26 mm	0,54–7,03 mm
Tvářecí práce <ul style="list-style-type: none"> pro jednotlivé zdvihy pro trvalý chod beranu 	630 J 320 J	1250 J 630 J
Max. tl. stříhaného plechu <ul style="list-style-type: none"> pro jednotlivé zdvihy pro trvalý chod beranu 	5 mm 2,5 mm	6,4 mm 3,2 mm
Počet zdvihů beranu	75 min ⁻¹	70 min ⁻¹
Počet využitelných zdvihů	45 min ⁻¹	45 min ⁻¹
Vyložení	225 mm	265 mm
Průchod	250 mm	300 mm
Sevření	265 mm	295 mm
Zdvih beranu	8–85 mm	8–95 mm
Přestavitelnost beranu	55 mm	60 mm
Upínací dutina beranu d/h	40/75 mm	40/75 mm
Upínací plocha stolu	560 x 450 mm	660 x 530 mm
Výkon elektromotoru	2,2 kW	3,0 kW
Rozměry lisu L x Š výška	1235 x 1365 mm 2145 mm	1246 x 1585 mm 2370 mm
Hmotnost lisu	2480 kg	3900 kg

Pro všechny tvářecí operace (kromě stříhání pruhů) se použije pouze jeden výstředníkový lis o jm. síle 400 kN vyhovující jak silově, tak z hlediska ostatních parametrů.

Konstrukce nástroje pro zakružování oka závěsu vyžaduje u lisu LEN 40P použití přídatného technologického zařízení, a to přidržovače, buď pružinového nebo pneumatického s vypočtenou přidržovací silou 2206 N, tj. přidržovač musí mít přidržovací sílu cca. minimálně 2 kN. Pneumatické přidržovače – výrobce Šmeral Trnava jsou vyráběny s přidržovací silou od 30 kN, proto je zvolen přidržovač pružinový s přidržovací silou 8 kN, typ QVZ 0,8.

Návrh nástroje pro předohyb oka rovněž používá přidržovače ovládaného přidržovačem lisu. Vypočtená přidržovací síla je 2015 N a lze tedy rovněž použít pružinový přidržovač QVZ 0,8.

8. TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Zadanou součást závěs dveří lze vyrábět pouze technologií tváření. Okrajově by se dalo uvažovat s kombinovanou technologií tváření + svařování, kdy oko závěsu jako trubka by bylo navařeno na ohnuté a vyděrované rameno závěsu. V tomto případě by výrobek byl však konstrukčně jiný.

Tvářecí operace včetně dělení tabulí na tabulových nůžkách a tomu odpovídající nástroje jsou navrženy optimálně k výrobnímu množství 50 000 ks/rok. Životnost střížníků a střížnic u postupového stříhadla do 1. přebroušení je cca 20 000 ks a přebroušovat lze až 4 krát. Životnost ohýbadel je min. 100 000 ks. Dodatečné náklady na provoz nástrojů jsou tedy pro zadané výrobní množství minimální. Pro menší výrobní množství – při kusové výrobě se postupové stříhadlo dá nahradit universálními děrovacími jednotkami, výroba oka závěsu je však závislá na ohýbání zakružováním. Naopak při vyšším výrobním množství – řádově statisíce kusů je možné použít jako vstupní materiál svitek plechu a pro první dvě navržené operace pak tvářecí linku. Její použití s ohledem na cenu a produktivitu by vyžadovalo kapacitně tuto linku vytížit jinými druhy součástí.

Při návrhu technologického postupu výroby tvářeného dílu je nutno posuzovat hlediska technická současně s hlediskem ekonomickým. Rozhodující pro výslednou cenu výrobku při návrhu technologického postupu jsou přímé náklady na výrobu. Pro výrobky, pro které není alternativní způsob výroby je jejich technicko-ekonomické porovnání nemožné a ekonomické zhodnocení lze provést na základě stanovení přímých nákladů resp. na procentuálním podílu materiálových, mzdových, energetických a ostatních přímých nákladů na celkových přímých nákladech a to na základě současného stavu poznání jednotlivých vstupních veličin.

Náklady na výrobu jednoho kusu se určují dle kalkulace a to předběžně před zahájením výroby na základě výrobního záměru. Po ukončení výroby nebo v jejím průběhu se provádí výsledná kalkulace s cílem zjistit skutečné náklady, resp. kusovou cenu.

Ke stanovení ceny výrobku se používá kalkulační vzorec jehož konstrukce je následující:

$$(PN_m + PN_{mz} + PN_e + OPN) * VR = VNV \quad [Kč]$$

$$VNV + SR = VNV_y \quad [Kč]$$

$$VNV_y + ON = UVNV_y \quad [Kč]$$

$$UVNV_y + Z = VC \quad [Kč]$$

$$VC + OOP = PC \quad [Kč]$$

kde:

PN_m , PN_{mz} , PN_e jsou přímé náklady materiálové, mzdové, na el. energii

OPN jsou ostatní přímé náklady, např. subdodávky, kooperace...

VR je výrobní režie

VNV jsou vlastní náklady výroby

SR je správní režie

VNV_y jsou vlastní náklady výkonů

ON jsou odbytové náklady

$UVNV_y$ jsou úplné vlastní náklady výkonů

Z je zisk

VC je výrobní cena

OOP jsou obchodní a odbytové přírážky resp. srážky

PC je prodejní cena

Přímé náklady na materiál, mzdy a energie lze stanovit přímo ve vztahu k výrobku a to následovně:

$$PN_m = M * C_m * N \text{ [Kč/rok]} \quad (17)$$

kde:

M – spotřeba materiálu [kg/ks]

C_m – cena materiálu [Kč/kg]

N – počet kusů vyráběné součásti [ks/rok]

$$PN_{mz} = t * M_t * n \text{ [Kč/rok]} \quad (18)$$

kde:

t – výrobní čas [Nh/ks]

M_t – hodinová mzda [Kč/hod]

N – počet kusů vyráběné součásti [ks/rok]

$$t = (t_{A1} + t_B/v_d)/60 \text{ [Nh/ks]} \quad (19)$$

kde:

t_{A1} – čas výroby jednoho kusu [Nmin]

t_B – čas přípravný na dávku [Nmin]

v_d – počet kusů ve výrobní dávce [ks]

$$PN_e = P * k * t_A * C_e * n \text{ [Kč]} \quad (20)$$

kde:

P – příkon [kW]

k – využití strojů [%]

t_{A1} – čas výroby jednoho kusu [Nhod/ks]

C_e – cena energie [Kč/kWh]

N – počet kusů vyráběné součásti [ks/rok]

Výrobní režie do kalkulačního vzorce jsou náklady související s výrobou, které nelze zjistit přímo ve vztahu k vyráběnému dílu.

Správní režie jsou náklady související s řízením a správou podniku jako celku. Výrobní i správní režie se určují za výrobní jednotku jako podíl nepřímých nákladů výroby, resp. správy (v Kč) na jedincových výkonech (v Kč) a vyjadřují se v %.

Orientační výpočet jednotlivých přímých nákladů je zpracován za těchto výchozích zjednodušených předpokladů:

- není uvažována 1. operace – stříhání tabulí na tabulových nůžkách
- pro další 4 operace je uvažována kadence lisů vždy shodně 10 zdvihů /min
- rozdělení výrobního množství na 50 výrobních dávek
- čas přípravy pro všechny 4 operace je uvažován 240 Nmin/dávku
- příkon lisů pro každou operaci je uvažován shodně 3 kW
- cena vstupního materiálu je ve výši 20,- Kč/kg
- hodinová mzda včetně odvodů je uvažována ve výši 110,- Kč/hod
- využití lisů se předpokládá na 60%
- cena energie 3,1 Kč/kWh

Přímé náklady na mzdy dle vztahu (17):

$$PN_m = M * C_m * N$$

kde:

M – 7 410 kg/50 000 ks = 0,1482 kg/ks	spotřeba materiálu
C _m – 20,- Kč/kg	cena materiálu
N – 50 000 ks/rok	počet kusů vyráběné součásti

po dosazení:

$$PN_m = 0,1482 * 20 * 50\,000 = \mathbf{148\,200\,Kč/rok}$$

Přímé náklady na mzdy dle vztahu (18):

$$PN_{mz} = t * M_t * N$$

kde:

t – 0,0106 Nh/ks	výrobní čas
M _t – 110,- Kč/hod	hodinová mzda
N – 50 000 ks/rok	počet kusů vyráběné součásti

$$t = [t_{A1} + (t_B/v_d)]/60 = [0,4 + (240/1000)]/60 = 0,0106\,Nhod$$

kde:

t _{A1} – 0,4 Nmin	čas výroby jednoho kusu
t _B – 240 Nmin	čas přípravný na dávku
v _d – 1000 ks	počet kusů ve výrobní dávce

po dosazení:

$$PN_{mz} = 0,0106 * 110 * 50\,000 = \mathbf{58\,300\,Kč/rok}$$

Přímé náklady na energii dle vztahu (20):

$$PN_e = P * k * t_A * C_e * N$$

kde:

P – 12 kW	příkon
k – 60 %	využití strojů
t _A – 0,0066 Nh/ks	čas výroby jednoho kusu
C _e – 3,1 Kč/kWh	cena energie
N – 50 000 ks/rok	počet kusů vyráběné součásti

po dosazení:

$$PN_e = 12 * 0,6 * 0,0066 * 3,1 * 50\,000 = \mathbf{7\,365,6\,Kč/rok}$$

OPN - cena nástrojů pro 2. až 5. operaci celkem **190 000,- Kč**

	Kč/rok	Kč/ks	%
Přímé náklady na: materiál	148 200	2,964	36,70
mzdy	58 300	1,166	14,43
energie	7 366	0,147	1,82
<u>nástroje</u>	<u>190 000</u>	<u>3,800</u>	<u>47,05</u>
celkem	403 866	8,077	100,00

Z uvedeného vyplývá, že největší podíl na přímých nákladech na výrobě závěsu dveří dle navrženého tg. postupu představují náklady na nástroje a materiálové náklady.

V kap. 4.1. při rozboru možných dílčích technologií byl při výběru konečného technologického postupu brán právě zřetel na konstrukční jednoduchost a výrobní nenáročnost jednotlivých nástrojů.

9. ZÁVĚR

Výroba dílů plošným tvářením má nezastupitelné místo ve výrobních strojírenských oborech. Podíl tvářecích operací na finálním výrobku resp. na jednotlivých dílech je různý, jsou však výrobky, kde tvářením nahradit nelze a nepočítáme-li dokončovací operace, např. povrchové úpravy, je zde podíl tvářením 100%. Příkladem takového výrobku – dílu je závěs dveří.

Rozvoj technologie tvářením směřuje v současných tržně-ekonomických podmínkách především k flexibilitě výroby a včasnosti dodávek výlisků odběratelům za současné minimalizace výrobních nákladů. Toho se dosahuje ve tvářením používáním moderních technologií, např. laser, vodní paprsek, plasma, používáním universálních nástrojů, např. universálních děrovacích a ohýbacích jednotek a aplikací normalizovaně vyráběných dílů nástrojů.

Bakalářská práce byla zaměřena na výrobu dílu závěs dveří se zaměřením na výrobu vlastního oka závěsu. Výsledky a návrhy na doporučení lze shrnout následovně:

- Tento druh součásti lze vyrábět efektivně pouze plošným tvářením.
- Specifickou tvářecí operací je ohýbání zakružováním pro vytvoření oka závěsu.
- Pro ohýbání zakružováním je v práci proveden konstrukční návrh ohýbacího nástroje, jehož princip lze aplikovat pro parametricky příbuzná oka závěsů při splnění uvedených technologických podmínek pro ohýbání zakružováním.
- Pro ohyb ramene závěsu o 90° je v práci uveden ideový návrh jednoduchého ohybadla, které lze aplikovat pro široký sortiment pravoúhlých ohybů.
- Pro děrování otvorů a tvarových prvků závěsu je navržena koncepce postupového stříhadla pro pruhy plechů s ohledem na zadanou sériovost 50 000 kusů/rok.
- Výroba dílu závěs dveří je v práci posuzována pouze pro parametry zadaného dílu. Rozborem součástkové základny ve výrobním podniku – lisovně, lze určit další druhy výlisků technologicky příbuzné navrženým operacím. Pro takovou skupinu výlisků lze uvedené ohýbací nástroje konstruovat jako univerzální s výměnnými funkčními díly a pro děrování otvorů lze použít univerzálních děrovacích, popř. ohýbacích jednotek.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BAREŠ, Karel a kol.. *Lisování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1971. 543 s.
- [2] DÍTĚ, Karel. *Mechanické lisování I*. Praha: 1963. 130 s.
- [3] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření. Plošné a objemové tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 169 s. ISBN 80-214-2340-4
- [4] fa SCHULER. *Handbuch der Umformtechnik*. Berlin: Springer, 1996. 565 s.
- [5] FOREJT, Milan. *Ročníkový projekt I. Syllabus pro kombinované studium bakalářského studijního programu "STROJÍRENSTVÍ"*. Brno: VUT Brno, 2002. 75 s.
- [6] HÝSEK, Rudolf. *Tvářecí stroje*. 3. vyd. Praha: SNTL, 1980. 552 s.
- [7] KOTOUČ, Jiří, ŠANOVEC, Jan, ČERMÁK, Jan, MÁDLE, Luděk. *Tvářecí nástroje*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
- [8] MACHEK, Václav, VESELÝ, Ladislav, VESELÝ, Milan, VIŠŇÁK, Jaroslav. *Zpracování tenkých plechů*. Praha: SNTL, 1983. 266 s. DT 621.98
- [9] NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9
- [10] ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. *Příručka pro lisování za studena*. Praha: SNTL, 1959. 540 s.
- [11] SRP, Karel. *Základy lisování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1965. 247 s.
- [12] STUDNÍČKA, Jaroslav. *Postupové lisovací nástroje*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1967. 118 s.
- [13] SVOBODA, Pavel, BRANDEJS, Jan, KOVÁŘÍK, Robert, SOBEK, Evžen. *Základy konstruování. Výběr z norem pro konstrukční cvičení*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 288 s. ISBN 80-7204-214-9
- [14] VESELÝ, Ivan. *Technologie zpracování plechu ve strojírenství*. Praha: VÚSTE, 1968. 175 s.
- [15] Zbrojovka Brno. *Směrnice pro zakružování - konstrukce nářadí, podniková norma* 1981.

- [16] ČSN 01 7009: *Výpočet rozvinutých délek ohýbaných sučiastok*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření. 60 s. MDT 621.98.01
- [17] ČSN 22 7340: Ohýbadla. Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet. Praha: Český normalizační institut. 16 s. MDT 621.979.074
- [18] ČSN 41 1373: *Materiálový list oceli 11 373*. Praha: Český normalizační institut, 1994. 24 s. MDT 669.14

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	práce	[J]
b	šířka plechu	[mm]
c	koeficient	[-]
C _e	cena energie	[Kč/kWh]
C _m	cena materiálu	[Kč/kg]
D, d	průměr	[mm]
F	síla	[N]
F _c	celková síla	[N]
F _{cu}	celková ohýbací síla do „U“	[N]
F _{cv}	celková ohýbací síla ohybu do „V“	[N]
F _{ou}	ohýbací síla do „U“	[N]
F _{ov}	ohýbací síla do „V“	[N]
F _p	přidržovací síla	[N]
F _s	střížná síla	[N]
F _{stír}	stírací síla	[N]
F _v	vyrovnávací síla	[N]
h	pracovní zdvih lisu	[mm]
k	využití strojů	[%]
L, l	délka	[mm]
l _m	rameno ohybu	[mm]
l _v	vzdálenost opěr ohybnice	[mm]
M	spotřeba materiálu	[kg/kus]
M _t	hodinová mzda	[Kč/hod]
m	součinitel	[-]
N	počet kusů	[ks]
n	koeficient	[-]
ON	odbytové náklady	[Kč]
OOP	obchodní a odbytové přírážky	[Kč]
OPN	ostatní přímé náklady	[Kč]
P	příkon	[kW]
p	měrný tlak	[MPa]
PC	prodejní cena	[Kč]
PN _e	přímé náklady na el. energii	[Kč]
PN _m	přímé náklady materiálové	[Kč]
PN _{mz}	přímé náklady mzdové	[Kč]
R, r	poloměr	[mm]
R _a	drsnot plochy	[μm]
R _e	mez kluzu	[MPa]
R _m	pevnost materiálu v tahu	[MPa]
R _o	poloměr ohybu	[mm]
R ₁	poloměr zaoblení pevné čelisti	[mm]
R ₂	poloměr zaoblení pohyblivé čelisti	[mm]
S	plocha	[mm ²]
SR	správní režie	[%]

s	tloušťka materiálu	[mm]
T	třecí síla	[N]
t	čas	[Nmin, Nhod]
t_{A1}	čas výroby jednoho kusu	[Nmin]
t_B	čas přípravy na dávku	[Nmin]
UVNVý	úplné vlastní náklady výkonů	[Kč]
v	střižná vůle	[mm]
VC	výrobní cena	[Kč]
v_d	výrobní dávka [ks]	
VNV	vlastní náklady výroby	[Kč]
VNVý	vlastní náklady výkonů	[Kč]
VR	výrobní režie	[%]
x	součinitel posunutí neutrální osy	[-]
z	střižná mezera	[mm]
Z	zisk	[%]
α	úhel ohybu	[°]
γ	úhel ohnutého úseku	[°]
δ	úhel odpružení	[°]
φ	úhel sklonu nožů	[°]
Φ	průměr	[mm]
λ	součinitel	[-]
ν	součinitel	[-]
ρ	poloměr neutrální osy	[mm]
σ	napětí	[MPa]
σ_g	náhradní ohybové napětí	[MPa]
σ_k	mez kluzu	[MPa]
τ_{ps}	pevnost materiálu ve stříhu	[MPa]

SEZNAM VÝKRESŮ

Ohýbadlo závěsu VUT – OHZ – 00 – 000 sestava

Rozevřený stav nástroje

Základová deska OHZ – 00 – 001 výrobní výkres

Podložka OHZ – 00 – 003 výrobní výkres

Přidržovač OHZ – 00 – 004 výrobní výkres

Držák čelisti 1 OHZ – 00 – 005 výrobní výkres

Držák čelisti 2 OHZ – 00 – 006 výrobní výkres

Čelist pevná 1 OHZ – 00 – 007 výrobní výkres

Čelist pevná 2 OHZ – 00 – 008 výrobní výkres

Pohyblivá čelist 1 OHZ – 00 – 009 výrobní výkres

Pohyblivá čelist 2 OHZ – 00 – 010 výrobní výkres

Upínací deska OHZ – 00 – 011 výrobní výkres – svarek

Šroub OHZ – 00 – 013 výrobní výkres

Kolík OHZ – 00 – 014 výrobní výkres

Hledáček OHZ – 00 – 015 výrobní výkres

Výškový doraz OHZ – 00 – 016 výrobní výkres

Stopka OHZ – 00 – 018 výrobní výkres

Přenášecí čep M14 OHZ – 00 – 019 výrobní výkres

Vodící pouzdro OHZ – 00 – 020 výrobní výkres

Vodící sloupek OHZ – 00 – 021 výrobní výkres

Ohyb ramene závěsu sestava

